

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Postupový nástroj pro lisování plechového profilu

Progressive tool for Stamping of Sheet Metal Profile

Student:

Bc. Pavel Rousek

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Rousek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Postupový nástroj pro lisování plechového profilu**
Progressive Tool for Stamping of Sheet Metal Profile

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor technologie postupového lisování plechových dílů.
2. Konstrukční a technologický návrh postupového nástroje.
3. Konstrukční a technologická analýza navrženého nástroje.
4. Technické-ekonomické zhodnocení navrženého postupového nástroje.

Seznam doporučené odborné literatury:


BAREŠ aj. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s.
KOTOUČ, J. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: ČVUT, 1978, 158 s.
PETRUŽELKA, J., BŘEZINA, R. *Úvod do tváření II*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2001. 115 s.
HRUBÝ, J., PETRUŽELKA, J. *Výpočetní metody ve tváření*. 1.vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2002. 173 s.
MIELNIK, E.M. *Metalworking Science and Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

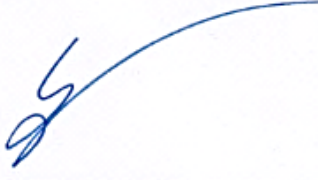
Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. 5. 2013


A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Pavel Houska', written over a dotted line.

podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. 5. 2013



.....
podpis

Bc. Pavel Rousek

Čičákova 1

787 01 Šumperk

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ROUSEK, P. *Postupový nástroj pro lisování plechového profilu: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2013, 78 s. Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Firma KARSIT HOLDING, s.r.o. se zabývá kompletní výrobou postupových lisovacích nástrojů. V diplomové práci je řešen konkrétní postupový nástroj pro plechový výlisek, určený k instalaci do mechanismu zavírání pátých nákladových dveří dodávkového automobilu Ford Transit. V práci je popsáno kompletní konstrukční řešení nástroje s jednotlivými částmi a prvky, ze kterých je složen. Práce se dále zabývá technologickým postupem výroby nástroje a také postupem lisování s detailním popisem všech osmnácti kroků pro vylisování výlisků v dvounásobném postupovém nástroji. Dále je diplomová práce věnovaná problematice stříhání pacek otvorů s navrženým řešením a zakončená je technickoekonomickým zhodnocením.

ANNOTATION OF THESIS

ROUSEK, P. *Progressive tool for stamping of sheet metal profile: Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2013, 78 p. Thesis head: prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

KARSIT HOLDING Company, Ltd. addresses the full production of progressive stamping tools. The thesis dealt with the specific tool for rolling sheet metal stamping, designed for installation into the mechanism of closing of the rear delivery door in Ford Transit. The work describes a complete structural solution tool with individual parts and elements of which it is compiled. The paper focuses on the technological process of production tool and molding process with a detailed description of all eighteen steps for pressing compacts in Two-processing tool. Furthermore, the paper is devoted to the issue of cutting holes paws with the proposed solution and ending with the technical and economic evaluation.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
ÚVOD.....	11
1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI.....	13
1.1 NÁSTROJÁRNA POSTŘELMOV	13
1.1.1 Výrobní program nástrojárny Postřelmov	14
1.1.2 Výrobní technologie nástrojárny Postřelmov.....	14
2 TVÁŘENÍ ZA STUDENA.....	15
3 ZÁKLADNÍ OPERACE PŘI PLOŠNÉM LISOVÁNÍ PLECHU.....	16
3.1 STŘÍHÁNÍ.....	16
3.1.1 Rozdělení střížných nástrojů	17
3.1.2 Stříhání na postupových stříhadlech	19
3.1.2.1 Výpočet střížné síly a práce na postupových stříhadlech[2].....	20
3.1.3 Střížná mezera	21
3.1.3.1 Výpočet velikosti střížné mezery pro postupová stříhadla[2]	21
3.2 OHÝBÁNÍ.....	22
3.2.1 Neutrální osa	23
3.2.2 Odpružení	24
3.2.2.1 Výpočet velikosti odpružení [2]	24
3.2.3 Průběh vláken materiálu.....	25
3.2.4 Ohýbání na lisech	25
3.2.4.1 Výpočty poloměrů ohybu [5].....	26
3.2.4.2 Výpočet ohýbací síly a práce [3]	27
3.3 TAŽENÍ.....	28
3.3.1 Princip tažení.....	28
3.3.1.1 Výpočet síly a práce při tažení [2]	29
3.3.2 Přidržovač [5].....	31
3.3.2.1 Tlak přidržovače a přidržovací síla [2]	32
3.3.3 Mazání [5]	33
3.3.4 Nástroje pro tažení [1].....	33
3.3.5 Postupové tažení [5].....	35
4 POSTUPOVÉ LISOVÁNÍ.....	37
5 ZADÁNÍ NÁSTROJE.....	39
6 LISOVACÍ LINKA KARSIT HOLDING, S.R.O. JAROMĚŘ.....	40
6.1 ODVÍJEČ SVITKU	40
6.2 ROVNAČKA PLECHU	41
6.3 PODAVAČ PLECHU S MAZACÍM ZAŘÍZENÍM	41
6.4 HYDRAULICKÝ LIS MW 450T	42
7 TECHNOLOGICKÉ OPERACE LISOVÁNÍ PLECHU.....	43
7.1 MATERIÁL VÝLISKU	43
7.2 POSTUP VÝROBY	44
8 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY NÁSTROJE.....	48

8.1	TŘÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ	48
8.2	ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ	49
8.3	RUČNÍ PRÁCE	49
9	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ LISOVACÍHO NÁSTROJE.....	50
9.1	KONSTRUKČNÍ ČÁSTI NÁSTROJE	51
9.2	KONSTRUKČNÍ ČÁSTI PRO LISOVÁNÍ PLECHU	54
9.2.1	Horní polovina lisovacího nástroje	54
9.2.2	Spodní polovina lisovacího nástroje	57
10	ANALÝZA DĚROVÁNÍ PACEK SOUČÁSTI.....	61
10.1	STÁVAJÍCÍ VARIANTA DĚROVÁNÍ.....	61
10.2	NOVÁ VARIANTA ŘEŠENÍ DĚROVÁNÍ.....	64
11	TECHNICKOEKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	66
11.1	TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ	66
11.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	67
	ZÁVĚR	70
	PODĚKOVÁNÍ.....	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ	75
	SEZNAM TABULEK.....	78

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	výpočet práce při stříhu, ohybu a tahu	[J]
C	empirická konstanta	[-]
C_m	materiálové náklady	[Kč]
C_{min}	minimální prodejní cena výlisku	[Kč]
C_{mv}	cena materiálu použitého na výlisek	[Kč]
C_o	cena odpadu vrácená do sběrných surovin	[Kč]
C_{sv}	cena svitku materiálu	[Kč/kg]
C_U	empirická konstanta	[-]
ČSN	České technické normy	[-]
D	vnější průměr	[mm]
D_{0skut}	skutečný průměr přístřihu	[mm]
D_{pn}	doba provozu nástroje	[Rok]
EN	Evropské normy	[-]
F	celková síla	[N]
F_{ci}	celková síla tažného lisu v i-tém tahu	[N]
F_{max}	maximální střižná síla	[N]
F_{max1}	maximální tažná síla v prvním tahu	[N]
F_{p1}	přidržovací síla v prvním tahu	[N]
F_{pi}	přidržovací síla	[N]
F_{t1}	tažná síla pro první tah	[N]
F_{ti}	tažná síla	[N]
F_U	ohýbací síla pro U ohyb	[N]
F_V	ohýbací síla pro V ohyb	[N]
F_{vi}	vyhazovací síla	[N]
K	hodnota odpružení	[°]
L	vzdálenost podpor	[mm]
M_1	součinitel odstupňování v 1. tahu	[-]
M_i	součinitel odstupňování v i-tém tahu	[-]
M_{mat}	hmotnost materiálu při kroku na jeden výrobek	[kg]
$M_{výl}$	hmotnost výlisku	[kg]
N	materiálové náklady na sérii	[Kč]

N_c	celkové náklady na výrobu postupového nástroje	[Kč]
N_i	inflace na výlisek	[Kč]
N_k	náklady za kooperaci	[Kč]
N_m	materiálové náklady	[Kč]
N_{mz}	mzdy	[Kč]
N_p	náklady za práci	[Kč]
N_r	režijní náklady na výlisek	[Kč]
N_s	skladovací náklady	[Kč]
N_v	variabilní náklady	[Kč]
N_z	průměrná hodinová sazba za práci	[Kč/h]
R	poloměr ohybu	[mm]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
R_{ms}	pevnost materiálu ve střihu	[MPa]
S	střižná plocha	[mm ²]
S_i	účinná plocha přidržovače	[mm ²]
T	tvářecí teplota	[K]
T_t	teplota tavení kovu	[K]
V_m	procentuální využití materiálu	[%]
V_{sr}	velikost série za rok	[ks/rok]
$W.Nr.$	číslo materiálu	[-]
Z	čistý zisk na jednom výlisku	[Kč]
a_{min}	nejmenší délka poloměru ohybu	[mm]
b	šířka plechu	[mm]
c	koeficient závislý na druhu střihu	[-]
d	vnitřní průměr	[mm]
d_1	střední průměr výtažku v prvním tahu	[mm]
d_{1sk}	skutečný průměr válcové části v prvním tahu	[mm]
d_i	průměr výtažku v i-tém tahu	[mm]
h	pracovní zdvih nebo výška nádoby	[mm]
k	součinitel vlivů zvyšujících střižnou sílu	[-]
k'	koeficient zpevnění	[-]

k_1	součinitel vyjadřující odstupňování tahu na velikost tažné síly	[-]
k_p	koeficient závislosti plochy diagramu tažení na odstupňování tahu	[-]
m	počet tahů	[-]
m_s	koeficient závislý na tloušťce a druhu materiálu	[-].
p_i	tlak přidržovače v i-tém tahu	[MPa]
r_1	vnitřní poloměr ohybu před odpružením	[mm]
r_2	vnitřní poloměr ohybu po odpružení	[mm]
r_{\max}	výpočet největšího poloměru ohybu	[mm]
r_{\min}	výpočet nejmenšího dovoleného ohybu	[mm]
r_{t1}	poloměr zaoblení tažné hrany v prvním tahu	[mm]
s	tloušťka plechu	[mm]
s_0	počáteční tloušťka plechu	[mm]
t	tloušťka materiálu	[mm]
t_{vn}	celkový čas strávený výrobou nástroje	[h]
z	velikost střižné mezery	[mm]
α	úhel opásání tažné hrany tažnice roven polovině π	[°]
α_1	úhel otevření (úhel mezi již ohnutými rameny před odpružením)	[°]
α_2	úhel otevření (úhel mezi již ohnutými rameny po odpružení)	[°]
ε_e	deformace na mezi kluzu	[-]
ε_m	maximální rovnoměrné prodloužení na mezi pevnosti	[-]
η	koeficient rovný $1 - \mu \cdot \alpha$	[-]
μ	součinitel smykového tření	[-]
σ_{Pt}	mez pevnosti nahrazující ve vzorci mez kluzu	[MPa]
Ψ	součinitel zaplnění diagramu	[-]



ÚVOD

Postupové lisování plechu je jednou z nejproduktivnějších technologií. Používá se hlavně v automobilovém průmyslu, kde je v lisovací lince instalovaný postupový nástroj, který na jeden zdvih v několika krocích vyrobí výlisek. Výlisky jsou dnes vysoce přetvárné a velmi komplexní, čemuž odpovídá i složitost lisovacího postupového nástroje a počet lisovacích kroků. Na nástroje jsou kladeny vysoké požadavky z hlediska životnosti, podle které se nástroj konstruuje. Vyrábí se z vysoce kvalitních oceli a normálií, které lze při poškození či opotřebením snadno vyměnit. Jelikož lisování plechu klade vysoké požadavky i na spolehlivost celého procesu, má velký význam osadit nástroj co nejvíce normáliemi, aby výpadek provozu výroby byl co nejkratší.

Výrobou těchto postupových nástrojů se zabývá firma KARSIT HOLDING, s.r.o., která byla založena v roce 1992. Jelikož se jedná o velmi složitou technologii, jak při výrobě, tak při konstrukci nástrojů, má firma vysoce kvalitní pracovníky a strojní park. Konstrukteři těchto postupových nástrojů musí být pro zvládnutí tak těžkého úkolu na tolik zkušenosti, že se ve firmě vychovávají až 10 let, než mohou sami 100% navrhnout kompletní postupový nástroj. Firma si těchto pracovníků náležitě váží, protože jejich první odhad při navrhování konečné ceny nástroje odhalí, zda bude zakázka u zákazníka přijata, a zda se dá nástroj vyrobit tak, aby celý proces nebyl ztrátový.

V práci je popsána výrobní linka společnosti KARSIT HOLDING, s.r.o., na které je postupový lisovací nástroj upnut. Dále je popsán technologický postup výroby nástroje i s jeho konstrukčním řešením jak rámu nástroje, tak částí, které přímo slouží pro lisování plechu. Postup lisování plechu ve všech osmnácti krocích, na které je nástroj konstruován, je znázorněn na layoutu a každý krok zvlášť je detailně popsán. Postupový nástroj je složen ze dvou částí, z důvodu malé velikosti lisu v nástrojárně pobočky firmy, které jsou dále smontovány pomocí základových desek v jeden nástroj. Odzkoušení, které probíhalo v lisovně a sídle firmy v Jaroměři, odhalilo problém na výlisku. Otvory v packách pro uložení čepu nejsou vystřiženy na správných místech ani v požadovaných tolerancích. Tomuto problému se práce dále věnuje. Krok, kde jsou otvory stříhány, je detailně rozebrán. Vysvětlen je princip horizontálního stříhání pomocí klínů a je navržena nová varianta. Nová varianta je založena na zlevnění a zjednodušení postupového lisovacího nástroje. Hlavní ušetření výrobních nákladů je absence použití složitého klínového mechanismu a tím zmenšení celkové délky postupového lisovacího nástroje. Tento návrh se však v praxi na



konkrétním postupovém lisovacím nástroji nebude uplatňovat a odladí se stávající varianta stříhání. Po odladění bude postupový lisovací nástroj instalován na lisovací linku v sídle firmy KARSIT HOLDING, s.r.o. v Jaroměři, přesně na dvou stojanový stříhací a tvářecí automat Müller Weingarten typu HUQ 450.30. Výlisky se budou lisovat po dobu šesti let v sériích 163 000 kusů za rok. Tyto výrobky budou dále odváženy zákazníkovi do firmy Johnson Controls GmbH v Německu. Závěrečná kapitola této práce je věnována konstrukčnímu a technologickému zhodnocení, kde jsou spočítány náklady na výrobu postupového nástroje a materiálové náklady na jeden výlisek i celou sérii.



1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Historie společnosti KARSIT HOLDING, s.r.o. se začala psát v srpnu roku 1992 v Jaroměři. O dva roky později, v roce 1994 společnost odkoupil závod Karosa Jaroměř. Zde se i v současné době nachází sídlo společnosti.

Tato společnost funguje ve dvou divizích. První, hlavní, divizí společnosti je divize Auto, jejímž výrobním programem jsou zejména dodávky dílů a komponentů pro automobilový průmysl. Konkrétně se pak jedná o lisované, svařované, montované a lakované díly, kovové kostry sedadel, výfuky a další výlisky, výroba panelových karosářských dílů či výroba plastových dílů. Druhá divize, divize služeb, zajišťuje podpůrné služby pro divizi Auto a vedle toho vyvíjí další aktivity, jako je například hostinská, nebo ubytovací činnost.

Mezi největší zákazníky společnosti KARSIT HOLDING, s.r.o. lze zařadit řadu významných evropských výrobců osobních automobilů, jako jsou například ŠKODA AUTO, Volkswagen, Scania či jejich systémoví dodavatelé jako Johnson Control, Faurecia, Inteva, Benteler, Treves aj.

Hlavní oblastí podnikání společnosti KARSIT HOLDING, s.r.o., zůstává výroba pro automobilový průmysl a společnost dodává své výrobky, díly a svařované sestavy nejen do celé Evropy, ale i například do Mexika.

K dnešnímu datu společnost zaměstnává více než 450 zaměstnanců a to jak ve svém sídle v Jaroměři, tak i ve svých dalších třech závodech, konkrétně ve Dvoře Králové nad Labem, Příbrami a Postřelmově.

Ekonomické výsledky společnosti potvrzují dlouhodobou stabilitu, která si bezpečně udržuje solidní podnikatelskou pozici, finanční stabilitu i trvalou solventnost.

1.1 Nástrojárna Postřelmov

Nástrojárna Postřelmov se stala součástí společnosti KARSIT HOLDING, s.r.o., v roce 2001. Již v minulosti se v Postřelmově věnovali výrobě nástrojů a jednoúčelových strojů pro elektrotechnický průmysl a až postupně se tato nástrojárna začala soustřeďovat na konstrukci a výrobu nástrojů pro automobilový průmysl.

V současné době je zde zaměstnáno na 40 pracovníků z toho 28 vysoce kvalifikovaných dělníků a 4 konstruktéři, jež se specializují na konstrukci postupových lisovacích nástrojů a vstřikovacích forem.



1.1.1 Výrobní program nástrojárny Postřelmov

- lisovací nástroje na tváření plechů (jednotlivé střížné, ohýbací a tažné, postupové, kombinované, do hmotnosti cca 3,5 tuny a rozměrů základní desky cca 2 000 x 1 000 mm)
- vstřikovací formy na termoplasty, termosety a gumu
- vstřikovací formy na slitiny Zn a Al
- kovové formy na gravitační lití hliníku
- různé typy kontrolních přípravků
- výroba složitých dílců na přesných obráběcích strojích

1.1.2 Výrobní technologie nástrojárny Postřelmov

- standardní obráběcí stroje vybavené nástroji pro opracování nástrojových ocelí
- CNC frézka FGSQ 320 s řídicím systémem Heidenhain
- CNC obráběcí centrum HARTFORD MVP 13 AD
- CNC obráběcí centrum HARTFORD PRO-1000 AP nejnovější rozšíření strojního parku nástrojárny, instalovaný IX. 2012, obě centra HARTFORD ovládá řídicí systém FANUC
- CAD/CAM pracoviště pro řízení CNC strojů s programovým systémem UNIGRAPHICS
- elektroerosivní hloubicí stroj MAKINO EC NC 64
- drátová řezačka MAKINO U53K
- drátová řezačka FANUC ROBOCUT Alpha liC
- třísořadnicový měřicí stroj ZETT MESS s 3D programem FUTUREX

2 TVÁŘENÍ ZA STUDENA

Tvářením za studena se uskutečňuje trvalá změna tvaru materiálu pomocí působení vnější síly. Při tváření za studena (lisování) se tvaruje kov za nízkých teplot, obvykle se tak děje při pokojové teplotě, pod rekrytalizační teplotou materiálu. Oproti součástem vyrobených tvářením za tepla, mají součásti vyrobené tvářením za studena lesklý povrch. Nemusí se také obvykle dále mechanicky obrábět a vyrábí se v menších rozměrových tolerancích. Při tažení drátu, hlubokém tažení atd. se dosahuje přesných rozměrů výrobku. [6]

V průběhu tváření za studena probíhá proces zpevňování, při kterém se tvoří deformační struktura. Pro zamezení pohybu dislokací účinně zabraňují dislokační sítě, hranice zrn a subzrn, disperzně vyloučené částice sekundárního kovu, nepohyblivé dislokační smyčky, vměstky a dutiny. Pro obnovení plasticity kovu nebo k případnému zjemnění struktury se používá rekrytalizační žíhání, pomocí kterého jednotlivá zrna ztrácejí podélné uspořádání a v závislosti na teplotě a deformaci rostou do různé velikosti. Tato výsledná rekrytalizační struktura má řádkovité uspořádání feritu a perlitu zvláště u nízkouhlíkových ocelí. [8]

Samotné tváření za studena probíhá při teplotě nižší, jako je:

$$T \leq 0,3 \cdot T_t$$

T – Tvářecí teplota v K

T_t – Teplota tavení kovu v K

Dalšími přednostmi lisování (tváření) za studena je jeho velká výkonnost, malé ztráty materiálu, nízké výrobní náklady a příznivé podmínky pro automatizaci výroby.

Tváření za studena se rozděluje podle převládajícího průběhu deformace materiálu na tváření objemové a tváření plošné.

Objemové tváření - změnou průřezu či tvaru výchozího materiálu dosahuje žádaného tvaru součásti. Objem materiálu v průběhu tváření zůstává konstantní. Nastává však jeho zpevnění a současně pokles tažnosti. Tyto procesy však ovlivňuje rozsah použitých tvářecích operací, mezi které patří protlačování a pěchování.

Plošné tváření - u plošného tváření nedochází k podstatné změně tloušťky plechu nebo průřezu výchozího materiálu. V průběhu tváření za studena v materiálu dochází k deformačnímu zpevňování, během kterého se zvětšuje tvrdost a pevnost při současném klesání tažnosti.

3 ZÁKLADNÍ OPERACE PŘI PLOŠNÉM LISOVÁNÍ PLECHU

Mezi základní druhy plošného tváření patří:

- Stříhání
- Ohýbání
- Tažení

Včetně těchto tří základních operací plošného tváření existuje množství různých kombinací zmíněných způsobů. Slučování a kombinování těchto způsobů lze uplatňovat v nástrojích postupových a sloučených.

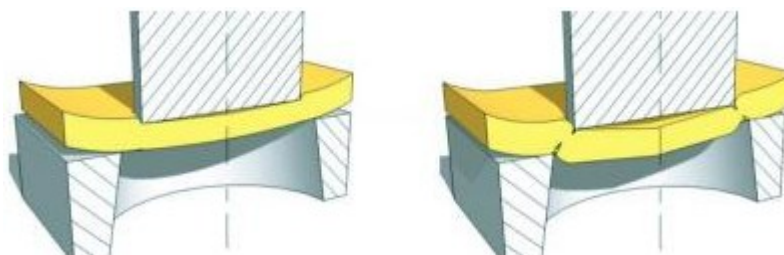
3.1 Stříhání

Stříhání je jednou z nejrozšířenějších beztrískových technologií pro zpracování plechu ve strojírenské výrobě. Používá se jak pro přípravu polotovarů, vystřihování konečných částí plechu nebo pro plechové díly určené pro další zpracování technologiemi, jako jsou ohýbání, protlačování či tažení.

Proces stříhání začíná tím, že střižník dosedne na stříhaný materiál. Ten se dále odděluje pomocí smykového namáhání, které je vyvolané střižnými hranami nástroje. Materiál se odděluje buď postupně, nebo podél čáry stříhu a celý proces končí rozstřížením materiálu. [1]

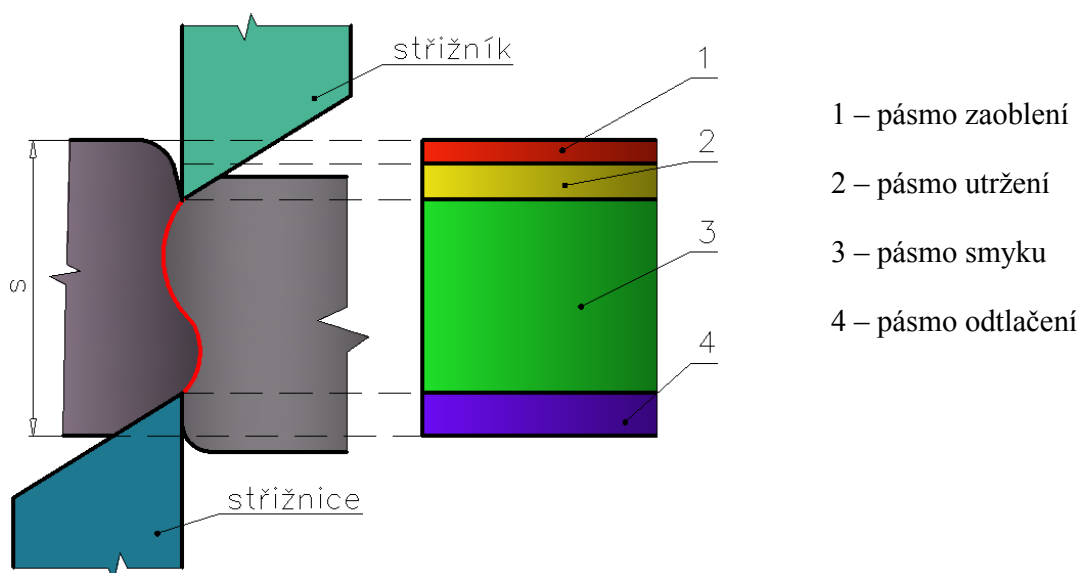
Samotný proces stříhání se skládá z 3 fází, a to:

1. Pružná deformace – v této fázi se materiál stlačuje mezi střižník a střižnici, ohýbá se a vtlačuje se do otvoru střižnice. Napětí materiálu je menší, než hodnota meze pružnosti a hloubka vniku střižníku je 5-8% tloušťky materiálu.
2. Plastická deformace – v této fázi se střižník vtlačuje do materiálu, který je dále vtlačován do otvorů střižnice. Napětí materiálu tak překračuje mez kluzu a přitom se blíží na hranách střižníku a střižnice mezi pevnosti. Ve stříhaném materiálu dochází k trvalé deformaci a hloubka vniku střižníku je 10-25% tloušťky materiálu.
3. Přestřihnutí – Materiál je namáhán nad mez pevnosti ve stříhu. Na hranách materiálu začínají vznikat trhliny (mikrotrhliny a po té makroskopické trhliny), které se rozšiřují do té doby, než dojde k rozstřihnutí (utržení). Zde je hloubka vniku střižníku 10-60% tloušťky materiálu.



Obr. 1 – Pružná a plastická deformace při průběhu procesu stříhání [10]

Dříve, než projde střížník celou tloušťkou materiálu je výstřížek oddělen. Výstřížek je z části vytlačen, a proto má střížná plocha určitou nerovnoměrnou drsnost. Nejdrsnější místa se nachází v prvních výskytech trhlin. Tlak nožů po celé ploše způsobuje nepřesné oddělení materiálu v žádané rovině, protože je materiál tvárný a elastický. Na odstříhnuté ploše proto rozeznáváme 4 různá deformační pásma. [1]



Obr. 2 – Deformační pásma při stříhání [1]

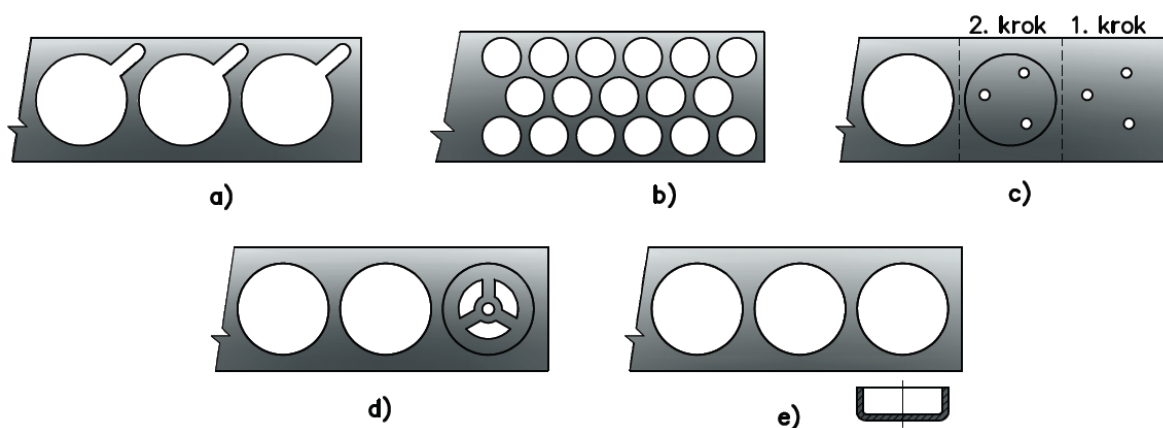
Mezi další varianty plošného stříhání patří operace, které se nazývají podle způsobu oddělování materiálu. Patří mezi ně přesné stříhání, prosté stříhání, vystřihování, přistřihování, prostřihování, nastřihování, děrování, protrhávání, ostřihování či vysekávání. [2]

3.1.1 Rozdělení střížných nástrojů

Střížné nástroje se rozdělují podle počtu operací:

- Jednoduché – pro jednu operaci na jednom výstřížku
- Vícenásobné – na jeden krok zhotoví několik stejných výstřížků (např. trojnásobný nástroj)

- c) Postupové – provádí několik operací na několik kroků. Výlisek putuje průběžně pracovními místy nástroje, přičemž na každý zdvih vychází z poslední operace hotový výrobek.
- d) Sloučené – konstruuje se pro několik operací na jeden krok (např. vystřihování a současně děrování)
- e) Sdružené – na jeden krok se provede několik různorodých operací (např. tažení a vystřihování)



Obr. 3 – Způsoby prací střížných nástrojů

Tab. 1 – Schematické rozdělení nástrojů podle jejich funkce [4]

Nástroj		Na jeden zdvih vykoná							
		Více operaci						Součástek	
		jednu operaci	totožných	toho stejného druhu	různého druhu	na jednom operačním místě	na více operačních místech (s posuvem materiálu)	hotových	rozpracovaných
1.	Jednoduchý	●						1	0
2.	Vicenásobný		●			●		více	0
3.	Postupový			●			●	1	více
4.	Sloučený			●		●		více	0
5.	Sdružený				●	●		1	0

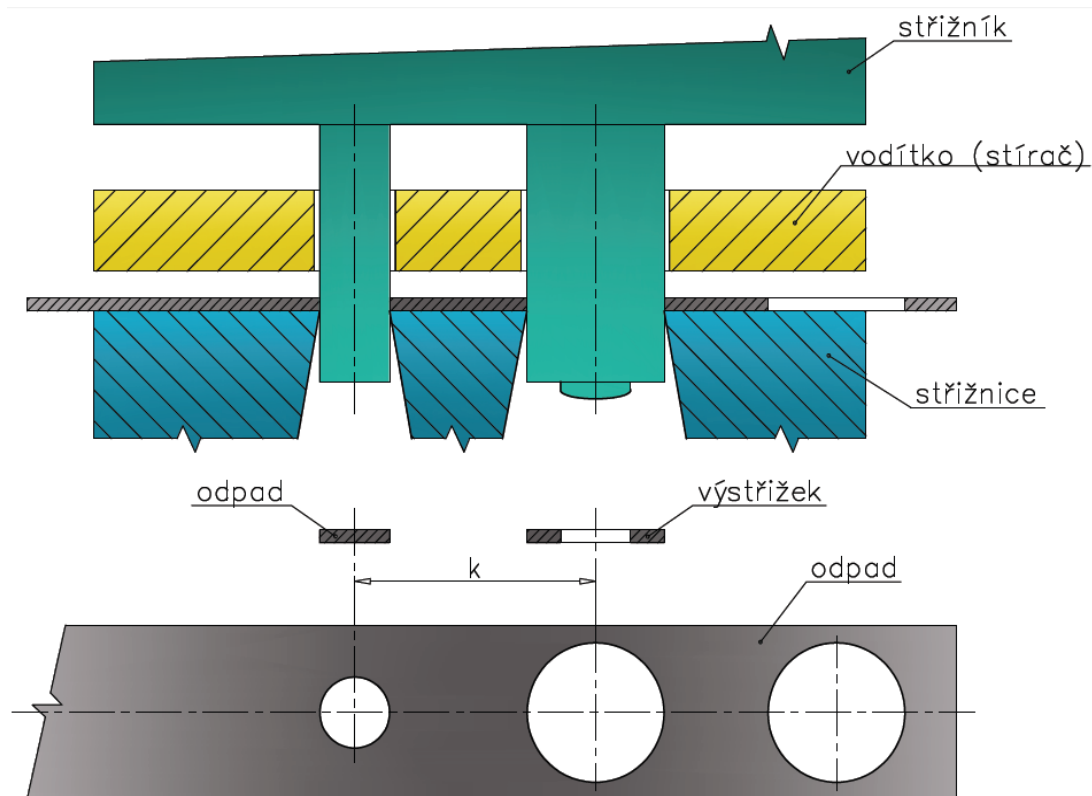
3.1.2 Stříhání na postupových stříhadlech

Stříhadla jsou nástroje pro stříhání, které se skládají ze střížníku a střížnice. Střížník je pohyblivá část, která vykonává funkci nože a je upnutá pomocí stopky do beranu lisu. Střížnice je naopak pevná část upnutá na stole lisu. Použitím vodící desky, která slouží pro eliminaci vůle beranu lisu, se zvyšuje životnost nástroje. K správnému vedení střížníku vůči střížnici se používají vodící stojánky s vodícími sloupky nebo sdružené vedení. Vodící sloupky mají kuličkové nebo kluzné vedení, po kterých se pohybují vodící stojánky s namontovanými stříhadly. Tyto vodící stojánky zabezpečují správné vedení střížníku a střížnice během stříhání. Díky těmto vodícím prvkům vznikají výstřižky s potřebnou přesností, protože je střížná mezera po celém obvodu střížné hrany stejná.



Obr. 4 – Princip stříhání na stříhadlech [1]

Jak je z názvu patrné, výstřižek se na postupovém nástroji zhotovuje postupně. Podle složitosti výstřižku se volí různý počet operací na různý počet kroků. Při vložení nového plechového pásu se používá načínací doraz. Správná poloha pásu je zajištěna pevným koncovým dorazem. Princip postupového stříhadla je názorně vysvětlen na obrázku pod textem, na kterém se stříhá podložka. Na každý zdvih se vystříhnou 2 kruhové plochy. Zleva první je vnitřní průměr podložky, jehož kruhový výstřižek padá do odpadu. Druhý střížník již vystříhne hotovou podložku. Po vyjetí střížníků se plech posune opět o krok na doraz a celý proces může začít znovu. Po každém kroku tedy z postupového stříhadla padají hotové výrobky. [1]



Obr. 5 – Princip postupového stříhadla

3.1.2.1 Výpočet střížné síly a práce na postupových stříhadlech[2]

a) Výpočet střížné síly F_{\max} [N]:

$$F_{\max} = S \cdot R_{ms} \cdot k$$

S – střížná plocha [mm²]

R_{ms} – pevnost ve stříhu [MPa]

k – součinitel vlivů zvyšujících střížnou sílu (volí se v rozmezí 1,25 – 1,50)

b) Výpočet střížné práce A [J]:

$$A = m_s \cdot F_{\max} \cdot s$$

m_s – koeficient závislý na tloušťce a druhu materiálu Viz. Tab. 2.

F_{\max} – maximální střížná síla [N]

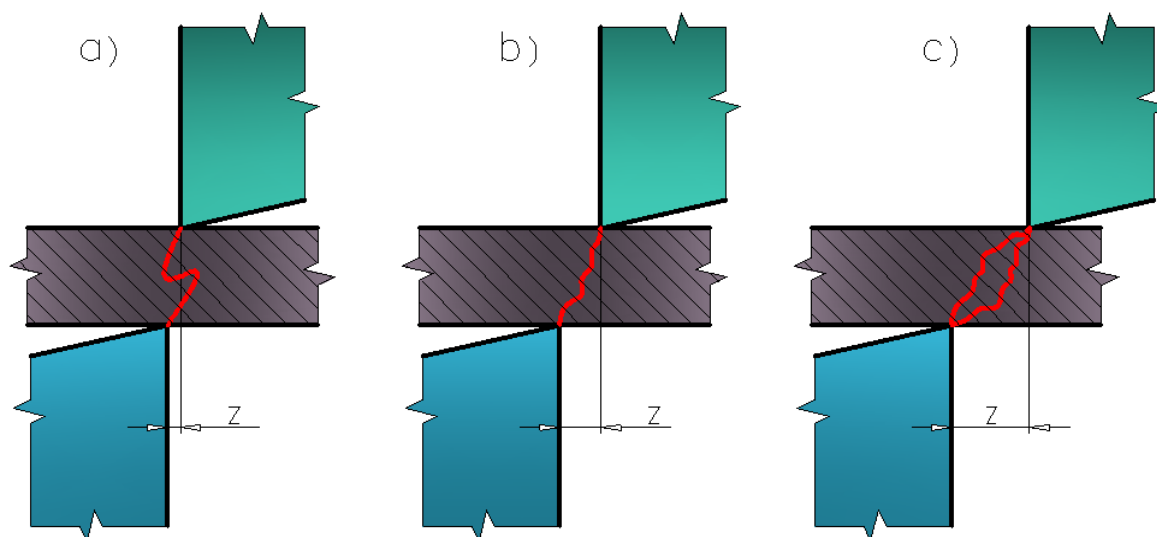
s – tloušťka materiálu [mm]

Tab. 2 – Hodnoty koeficientů m_s pro výpočet střížné práce

Stříhaný materiál	Tloušťka stříhaného materiálu s [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel měkká ($R_m = 250 - 350$ MPa)	0,65 - 0,70	0,60 - 0,65	0,50 - 0,60	0,35 - 0,50
Ocel měkká ($R_m = 350 - 500$ MPa)	0,55 - 0,60	0,50 - 0,55	0,40 - 0,50	0,30 - 0,40
Ocel měkká ($R_m = 500 - 700$ MPa)	0,42 - 0,45	0,38 - 0,42	0,33 - 0,38	0,20 - 0,33
Žíhané Al a Cu	0,70 - 0,75	0,65 - 0,70	0,55 - 0,65	0,40 - 0,55

3.1.3 Střížná mezera

Velikost střížné mezery značně ovlivňuje kvalitu střížné plochy tak i trvanlivost nástroje a velikost střížné síly. Optimálně zvolená velikost střížné mezery zaručuje správné ustříhnutí materiálu. Tato velikost se určuje podle druhu a tloušťky stříhaného materiálu (3-20% tloušťky plechu). Čím tlustší a měkčí materiál je stříhán, tím menší střížnou mezeru volíme.[2]



Obr. 6 - Kvalita střížné plochy s ohledem na velikost střížné mezery (a – malá střížná mezera; b – optimální střížná mezera; c – velká střížná mezera) [2]

3.1.3.1 Výpočet velikosti střížné mezery pro postupová stříhadla[2]

Podle tloušťky plechu máme pro výpočet střížné mezery dva vztahy:

a) Plechy do tloušťky 3mm:

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}}$$

b) Plechý o tloušťce 3mm a maximálně do 12mm:

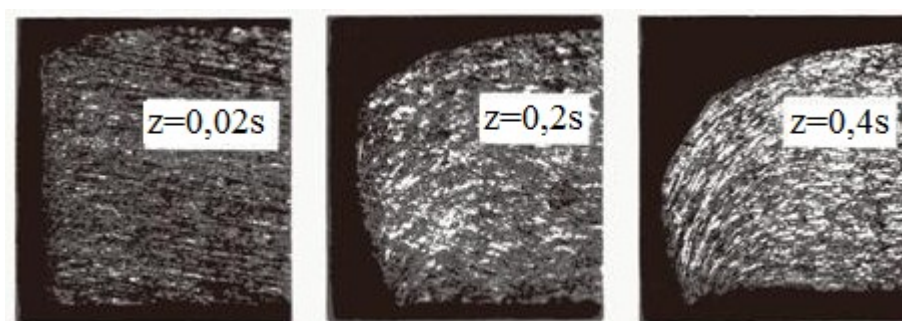
$$z = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}}$$

z – velikost střížné mezery [mm]

c – koeficient závislý na druhu stříhání. Volíme ho v rozmezí 0,005 – 0,035 kdy zvolením dolní hranice dosahujeme co nejkvalitnějšího povrchu střížné plochy a volbou horní hranice dosahujeme minimální střížné síly.

s – tloušťka stříhaného plechu [mm]

R_{ms} – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]



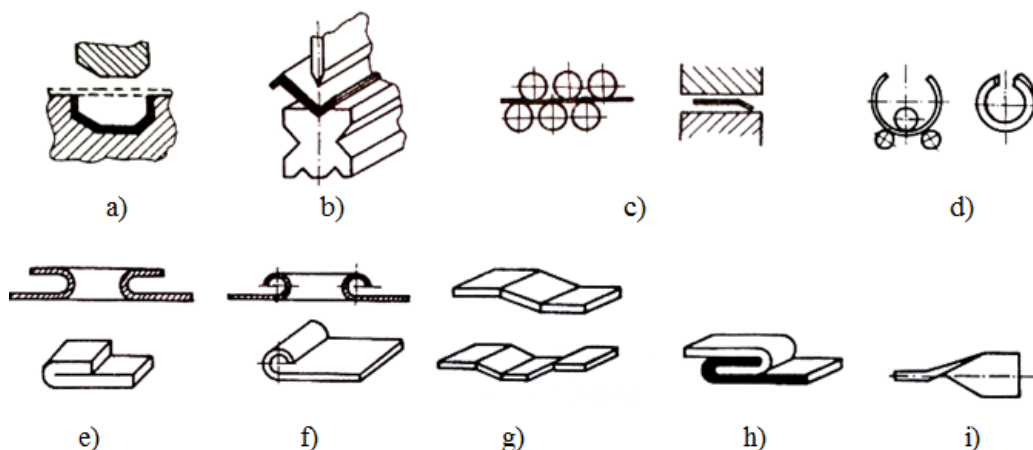
Obr. 7 – Kvalita střížné plochy pro 3 různé velikosti střížné mezery [1]

3.2 Ohýbání

Ohýbání je proces plošného tváření, při kterém je materiál působením momentů vnějších sil trvale deformován do požadovaného úhlu ohybu. Tvary ohýbaných těles jsou rozvinuté. Pro ohýbání slouží ohýbadla, což jsou nástroje, které se skládají z ohybníku a ohybnice. Výsledkem tohoto procesu je výlisek nebo-li ohybek.

Ohýbání můžeme rozdělit na 9 druhů a to:

- a) Prosté ohýbání
- b) Ohraňování
- c) Rovnání
- d) Zakružování
- e) Lemování
- f) Obrubování
- g) Osazování
- h) Drápkování
- i) Zakrucování

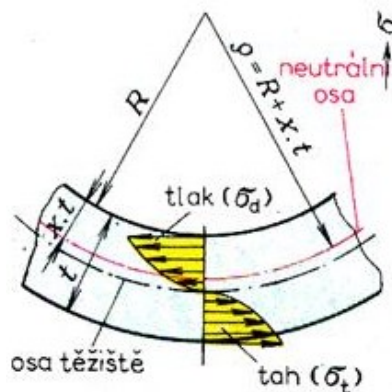


Obr. 8 – Rozdělení způsobů ohýbání

Během procesu ohýbání zůstává poměr plochy povrchu polotovaru k jeho objemu prakticky konstantní. Při ohýbání do požadovaného tvaru materiál překročí mez kluzu a dosáhne plastické deformace. Ohnutí tělesa tak využívá stejné zákony plasticity, jako u ostatních způsobů tváření. Plastická deformace je ovšem doprovázena i elastickou deformací, která nemůže být zanedbána. Tako pružně plastická deformace má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose.

3.2.1 Neutrální osa

Neutrální osa je vždy před ohýbáním ve středu průřezu materiálu. V průběhu ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně stěny ohýbaného materiálu a není tedy totožná s osou těžiště materiálu. Na neutrální ose jsou vlákna bez deformace a bez napětí. Avšak materiál na vnitřní straně ohybu od neutrální osy je v podélném směru zkracován a stlačován a v příčném směru roztahován. Naopak materiál na vnější straně ohybu od neutrální osy je v podélném směru prodlužován a roztahován a v příčném směru stlačován. Neutrální osa s napětími a deformacemi je znázorněna na obrázku č. 9. [1]



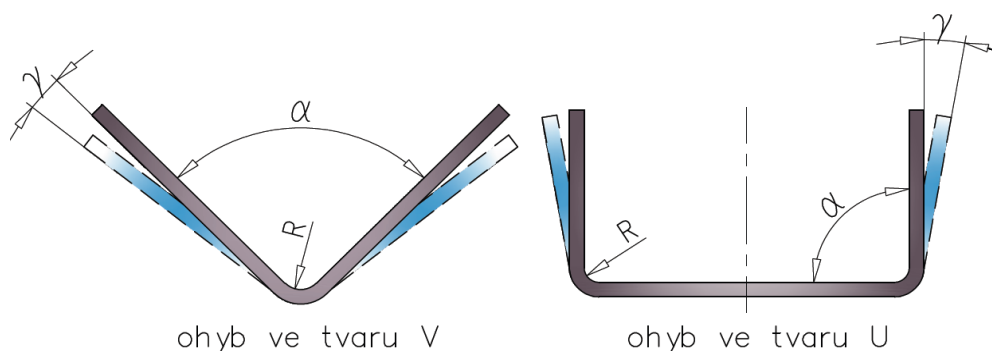
Obr. 9 – Schéma rozložení napětí při ohýbání a posuv neutrální osy [1]

3.2.2 Odpružení

Jakmile na ohýbané těleso přestanou působit vnější síly, materiál má tendenci se částečně vracet do původního stavu tzv. odpruží. Odpružení roste s tvrdostí materiálu a poloměrem ohybu (s rostoucím úhlem ohybu se naopak zmenšuje). Velikost úhlu odpružení je závislá na způsobu ohýbání a tvárnosti materiálu a bývá zpravidla v rozsahu od 3° do 15°. Materiál se však současně s ohýbáním i táhne a to o 2% až 4% své délky.

Tab. 3 – Hodnoty úhlu odpružení materiálů

Materiál	R/t	
	0,8 - 2	>2
Ocel σ_{pt} 320 MPa	1°	3°
Ocel σ_{pt} 320 - 400 MPa	3°	5°
Ocel σ_{pt} 400 MPa	5°	7°
Mosaz měkká	1°	3°
Mosaz tvrdá	3°	5°
Hliník	1°	3°



Obr. 10 – Odpružení materiálu ve tvaru „V“ a „U“ (α – úhel ohybu, γ – úhel odpružení)

3.2.2.1 Výpočet velikosti odpružení [2]

Velikost odpružení K vypočítáme ze vztahu:

$$K = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cong \frac{r_1 + 0,5 \cdot s_0}{r_2 + 0,5 \cdot s_0} [-]$$

α_1 – úhel otevření (úhel mezi již ohnutými rameny před odpružením)

α_2 – úhel otevření (úhel mezi již ohnutými rameny po odpružení)

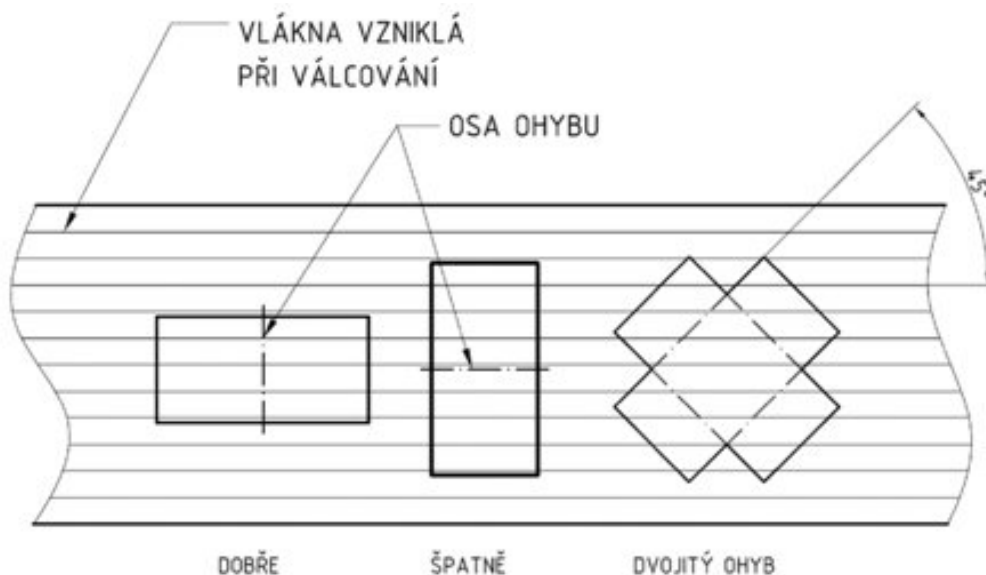
r_1 – vnitřní poloměr ohybu před odpružením

r_2 – vnitřní poloměr ohybu po odpružení

s_0 – počáteční tloušťka materiálu před ohýbáním

3.2.3 Průběh vláken materiálu

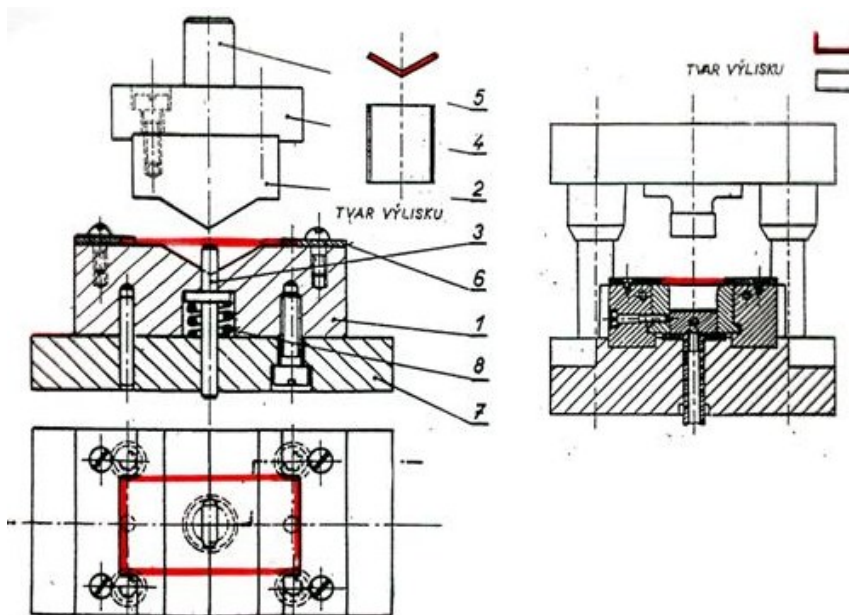
Průběh vláken materiálu může způsobovat praskání ohýbaného materiálu a vznik trhlin na vnější straně. Praskání nastává při překročení kritické hodnoty poloměru ohybu R/t . Pro zamezení praskání by měla být osa ohybu kolmá na směr vláken materiálu a nebo alespoň pod úhlem 30° . Jsou-li totiž vlákna materiálu rovnoběžná s osou ohybu, při určitých tloušťkách materiálu o určeném poloměru mohou na povrchu vznikat trhliny.



Obr. 11 – Směr vláken materiálu při ohýbání [12]

3.2.4 Ohýbání na lisech

Na lisech se provádí ohýbání v ohýbacím nástroji (ohýbadla), jehož pohyblivá část (ohybník) vykonává vratné přímočaré pohyby. Ohýbání se provádí buď na mechanických či hydraulických lisech, nebo ve speciálních nástrojích jako jsou například postupové nástroje, kde se v dalších krocích mimo ohýbání může materiál stříhat nebo protahovat. Ohýbadla na lis se v porovnání s ostatními nástroji stavějí velmi jednoduchá, kdy často nemívají ani vlastní vedení. Schémata ohýbacích lisovacích nástrojů jsem uvedl na následujícím obrázku.



Obr. 12 – Schéma nástrojů pro ohyb materiálu do tvaru „V“ a „U“ [1]

3.2.4.1 Výpočty poloměrů ohybu [5]

Nejmenší dovolený vnitřní poloměr ohybu, při kterém tahové napětí ve vnějších vláknech nepřekročí mez pevnosti a ohýbaný materiál se neporuší. Při ohýbání právě malé poloměry vykazují malé odpružení, ale vše závisí i na směru válcování plechu.

Výpočet nejmenšího dovoleného ohybu:

$$r_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_m} - 1 \right) [mm]$$

s – tloušťka ohýbaného materiálu

ε_m – maximální rovnoměrné prodloužení na mezi pevnosti

Výpočet největšího poloměru ohybu:

$$r_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_e} - 1 \right) [mm]$$

ε_e – deformace na mezi kluzu

Výpočet nejmenší délky poloměru ohybu:

$$a_{min} = 2 \cdot s [mm]$$

3.2.4.2 Výpočet ohýbací síly a práce [3]

Ohýbací síla pro V ohyb se vypočítá ze vztahu:

$$F_V = C \cdot \frac{b \cdot s_0^2}{L} \cdot \sigma_{Pt}$$

C – empirická konstanta, kde $L = (5 - 15) \cdot s_0$

b – šířka plechu

s_0 – počáteční tloušťka plechu

L – vzdálenost podpor

σ_{Pt} - mez pevnosti nahrazuje ve vzorci mez kluzu

Ohýbací síla pro U ohyb se vypočítá ze vztahu:

$$F_U = C_U \cdot \frac{b \cdot s_0^2}{2 \cdot L_U} \cdot \sigma_{Pt}$$

C_U – empirická konstanta pro $C_U = 1,6 - 1,8$

Je-li však použit přidržovač, pak se celková síla vypočítá $F = F_{U,V} + F_p$, kdy F_p je síla přidržovače $F_p = (0,25 \cong 0,30) \cdot F_{U,V}$

Ohýbací práce se vypočítá ze vztahu:

$$A = F \cdot h \cdot \Psi$$

F = celková síla

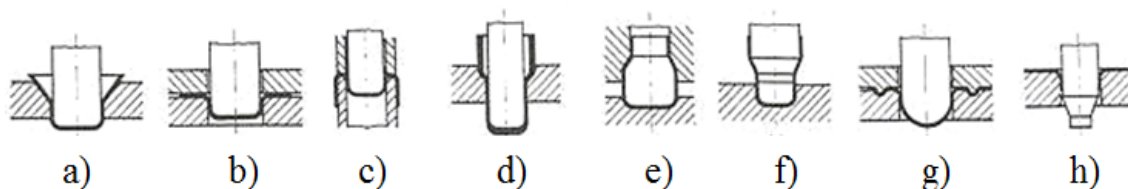
h – zdvih

Ψ – součinitel zaplnění diagramu (volí se 0,5-0,65)

3.3 Tažení

Tažení plechu je další způsob plošného tváření, při kterém se rovný plech neboli přístřih, mění v prostorový výlisek nerozvinutého tvaru. Tato polouzavřená dutá nádoba má většinou rotační tvar a vyrobí se jedním nebo několika tahy. Po tažení se výlisky již dále nepracovávají, pouze se ostříhne přebytečný materiál. Nástrojem při tažení je tažidlo, které se dále skládá z tažníku a tažnice. Konečný výrobek se pak nazývá výtažek.

Základní technologie tažení, kterými lze zpracovávat plechový přístřih, pás nebo jiný plechový polotovár jsou: a) prosté tažení, b) tažení s přidržovačem, c) zpětné tažení, d) tažení se ztenčením stěny, e) zužování, f) rozšiřování, g) napínání, h) lemování, žlábkování, přetahování a další speciální způsoby.

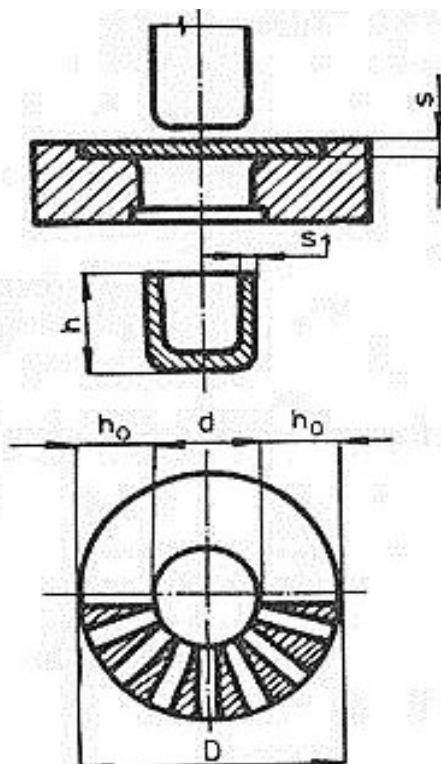


Obr. 13 – Základní technologie tažení

Mezi výhody výtažků lze uvést jejich tuhost, dobrou kvalitu povrchu, hmotnost a při velkosériové výrobě také nízké výrobní náklady.

3.3.1 Princip tažení

Proces tažení lze dělit podle tvaru výlisku na tažení mělké, hluboké, bez ztenčení stěny a se ztenčením stěny. Tažením lze zpracovávat jak rotační tvary, tak hranaté či nepravidelné (např. karosářské výlisky). Celý proces si však názorně vysvětlíme na jednoduchém válcovém tvaru se dnem. Kruhový přístřih neboli rondel je protlačován mezi tažníkem a tažnicí. Plech se táhne přes tažnou hranu nástroje, která bývá nejrychleji opotřebovaná. Jak je patrné na obrázku 14, průměr materiálu D se změní na válec s průměrem d a výškou h . Objem kovu se v průběhu tažení nemění v důsledku platnosti zákona o stálosti objemu. Proto výška výtažku bude větší, než průměr materiálu D . [1]



Obr. 14 – Základní princip tažení válcové nádoby

U složitějších a hlubších výtažků, které nelze vyrobit na jeden tah, volíme postupné tažení. Počet operací pro vyrobení výtažku určujeme podle součinitele tažení neboli součinitelem odstupňování tahů, který je dán vztahem:

$$m = d/D$$

m – počet tahů
 d – vnitřní průměr
 D – vnější průměr

Je-li po vypočtení hodnota $m < 0,55$, musíme výtažek zhotovit na několik tahů, jinak by tažení vedlo k trhání taženého materiálu. [7]

3.3.1.1 Výpočet síly a práce při tažení [2]

Při výpočtu tažné síly je třeba přihlížet faktorům, které ovlivňují její velikost. Mezi tyto ovlivňující faktory patří zejména tření, které vzniká posuvem po zaoblené hraně tažnice, je-li nástroj vybaven přidržovačem, tak se musí zohlednit i tření mezi tažnicí a přidržovačem. Dále se musí dbát na ohyb taženého materiálu na hraně tažnice, změny tloušťky stěny plechu a vliv deformačního zpevnění. Tyto faktory byly zavedeny do vztahu pro výpočet maximální tažné síly v prvním tahu.

Maximální tažná síla v prvním tahu:

$$F_{max1} = \frac{k'}{\eta} \cdot \left[\pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot R_e \cdot \left(\ln \frac{D_{0skut}}{d_{1sk}} + \frac{s_0}{2 \cdot \left(r_{t1} \cdot \frac{s}{2} \right)} \right) + 2\mu \cdot \frac{d_1}{D_{0skut}} \cdot F_{p1} \right]$$

k' - koeficient zpevnění

η – koeficient rovný $1 - \mu \cdot \alpha$

α – úhel opásání tažné hrany tažnice roven polovině π [°]

s_0 – počáteční tloušťka plechu [mm]

R_e – mez kluzu materiálu [MPa]

D_{0skut} – skutečný průměr přístřihu [mm]

d_{1sk} – skutečný průměr válcové části v prvním tahu [mm]

r_{t1} – poloměr zaoblení tažné hrany v prvním tahu [mm]

s – tloušťka plechu [mm]

μ – součinitel smykového tření

F_{p1} – přidržovací síla v prvním tahu [N]

Tažná síla pro první tah:

$$F_{t1} = \pi \cdot d_1 \cdot k_1 \cdot s_0 \cdot R_m$$

d_1 – střední průměr výtažku v prvním tahu [mm]

k_1 – opravný silový součinitel vyjadřující odstupňování tahu na velikost tažné síly

R_m – mez pevnosti materiálu [MPa]

Tažná síla pro následující tahy se určí z předchozího vzorce, jen se za d_1 a k_1 dosazuje d_i a k_i podle i -tého tahu.

Tab. 4 – Hodnoty silových opravných součinitelů pro 1. tah k_1

M₁	0,50	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,75	0,80
k₁	1,14	1,08	1	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,40

Tab. 5 – Hodnoty silových opravných součinitelů pro druhý a následující tahy k_i

M_i	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80	0,85	0,90	0,95
k_i	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60	0,50

M_1 – součinitel odstupňování v 1. tahu

M_i – součinitel odstupňování v i-tém tahu

Celková síla tažného lisu v i-tém tahu:

Celková síla tažného lisu slouží ke kontrole jmenovité síly lisu.

$$F_{ci} = F_{ti} + F_{pi} + F_{vi}$$

F_{ti} – tažná síla

F_{pi} – přidržovací síla

F_{vi} – vyhazovací síla, kterou je možno často zanedbat

Výpočet práce:

$$A = F_c \cdot h \cdot k_p \text{ [J]}$$

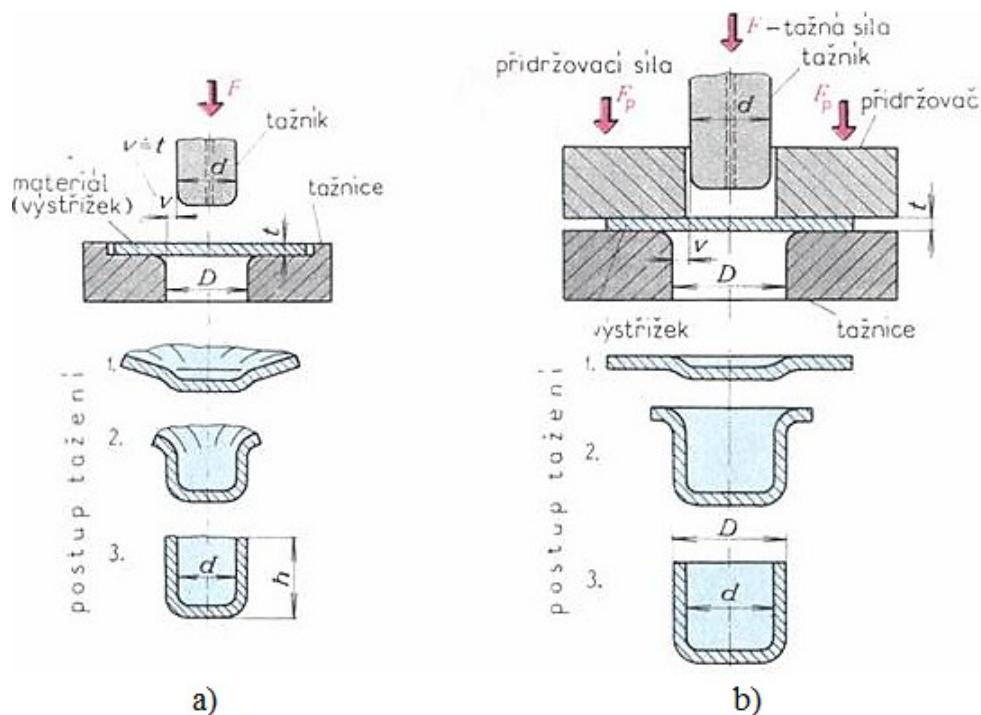
h – pracovní zdvih nebo výška nádoby [m]

k_p – koeficient závislosti plochy pracovního diagramu tažení na součiniteli odstupňování tahu, který bývá roven přibližné hodnotě 0,8

3.3.2 Přidržovač [5]

Funkcí přidržovače je svou funkční plochou přitlačovat tvářený plech k tažnici, a tím bránit vzniku přeložek a vln při tažení. Čím je materiál tenčí a součinitel odstupňování tahu nižší, tím je větší riziko vzniku těchto zvrásnění. Proto se u tenkých plechů volí vždy (plech tloušťky $s < 0,5\text{mm}$) tažení s přidržovačem, naopak při tažení tlustostěnných profilů přidržovače zpravidla není potřeba. Stabilita příruby je dostatečně velká, tak nehrozí zborcení materiálu následkem tangenciálního pětchování.

Přidržující sílu vyvozují buď pružiny (gumové nebo ocelové), které jsou upevněné na beranu a stlačované pohybem přitlačné desky. Při hlubších tazích může sílu vyvozovat pneumatický přidržovač nebo druhý (přidržovací) beran, který je součástí dvojčinných lisů.



Obr. 15 – a) vnik vln při tažení bez přidržovače a b) tažení s přidržovačem

3.3.2.1 Tlak přidržovače a přidržovací síla [2]

Velikost tlaku přidržovače je závislá na tloušťce a pevnosti taženého materiálu. Čím větší je tloušťka plechu, tím je přitlačná síla přidržovače menší. Z pravidla se v praxi volí od 1 do 3 MPa.

Tlak přidržovače v i-tém tahu:

$$p_i = (0,002 \div 0,003) \cdot \left[\left(\frac{1}{M_i} - 1 \right)^3 + 0,5 \cdot \frac{d_i}{100 \cdot s} \right] \cdot R_m \text{ [MPa]}$$

d_i – průměr výtažku v i-tém tahu [mm]

s – jmenovitá tloušťka plechu [mm]

R_m – mez pevnosti materiálu [MPa]

Přidržovací síla v i-tém tahu:

$$F_{pi} = p_i \cdot S_i \text{ [N]}$$

S_i – účinná plocha přidržovače vypočtená dle vztahu: $S_i = \frac{\pi \cdot D_{oskut}^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d_1 + 2 \cdot s + 2 \cdot r_{t1})^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]}$

3.3.3 Mazání [5]

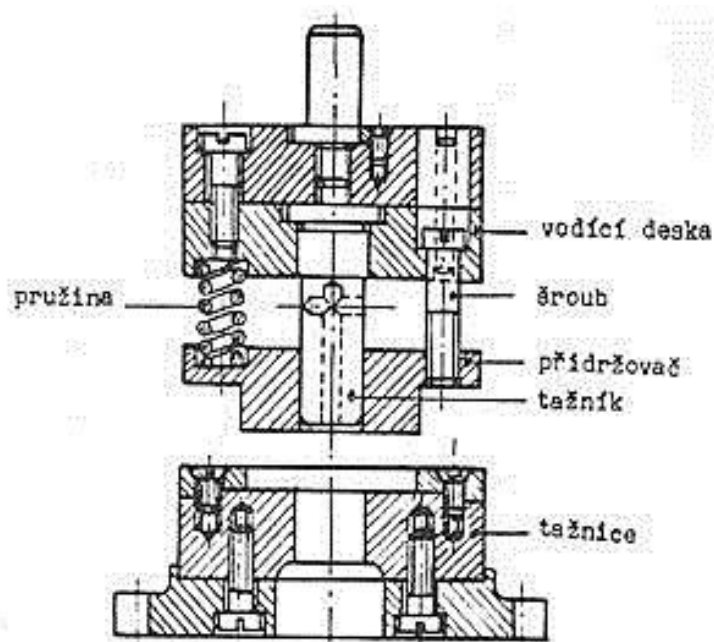
Mazáním předcházíme zadírání materiálu na styčných plochách nástroje. Mazivo nám zajišťuje hladké stěny výtažku a přináší i úsporu energie, protože ztráty třením zvětšují tažnou sílu až o 20 až 30%. I když je ale tažná hrana dobře mazána, součinitel smykového tření bývá $\mu = 10$ až 0,15 z důvodu přechování materiálu v tvářené oblasti a vytvářením nového drsnějšího povrchu.

Maziva se rozdělují na 3 základní druhy a to kapalná, konzistentní a tuhá.

- a) Kapalná maziva – mezi kapalná maziva patří minerální, organické a syntetické oleje. Nejvhodnější jsou oleje syntetické, protože minerální oleje nejsou vhodné pro tažení kovů a organické mají sice výborné mazací vlastnosti, ale jsou příliš drahé. K vytvoření olejových emulzí se používají oleje rozpustné ve vodě. Mýdlové emulze, které mají značný chladicí účinek a snadno se odstraňují z výlisků, jsou roztoky solných a draselných mýdel a používají se v koncentraci 10% až 20%.
- b) Konzistentní maziva – jsou to mazací tuky, které se používají pro nenáročné tahy a tažení barevných kovů. Nositel mazacích vlastností je zde mastná přísada, která je pro přilnavost žádoucí, a minerální olej.
- c) Tuhá maziva – při tažení hlubokých nebo složitých výtažků se používají jako přísady pro běžná maziva. Používá se sirník molybdeničitý (MoS_2) do teploty 400°C a grafit do teploty 800°C .

3.3.4 Nástroje pro tažení [1]

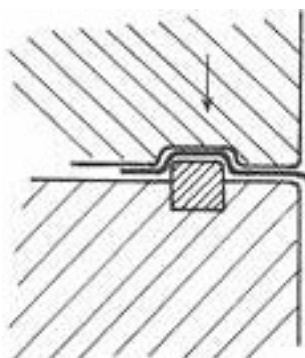
Hlavními funkčními částmi nástroje jsou tažnice, tažník a přidržovač, který se instaluje do nástroje pro zabránění vlnění plechu při tažení. Podle charakteru operace, kterou tažný nástroj vykonává, rozdělujeme nástroje pro první tah a nástroje pro další tahy. Obě skupiny nástrojů se dále podle konstrukce rozdělují na jednoduché, sloučené a speciální a podle druhu lisu na jednočinné, dvojčinné, trojčinné a postupové lisy. Jako poslední rozdělení lze uvést podle přidržovače na nástroje bez přidržovače a s přidržovačem, který může být buď pružinový, hydraulický, pneumatický nebo pryžový.



Obr. 16 – Schéma tažného nástroje

V dnešní době výlisky slouží jako samostatné konstrukční prvky, které musí při své vlastní nepatrné hmotnosti přenášet značná namáhání a být velice tuhé. Tyto výlisky se táhnou na vícebodových karosářských lisech se značnou rezervou sil. Není proto nutné provádět kontrolu tvářecích sil. Tyto lisy se od klasických tažných nástrojů liší v mnoha ohledech:

- Díky vložkované tažné hraně se mohou snadně vyměňovat opotřebované hrany a měnit tvary
- V nástroji jsou zabudovány brzdící lišty, které zvyšují brzdný účinek přidržovače
- oba díly nástroje jsou po dosednutí rozdílné pouze o tloušťku plechu. Nástroj tedy po tažení a dosednutí žádany tvar i kalibruje



Obr. 17 – Detail brzdící lišty

3.3.5 Postupové tažení [5]

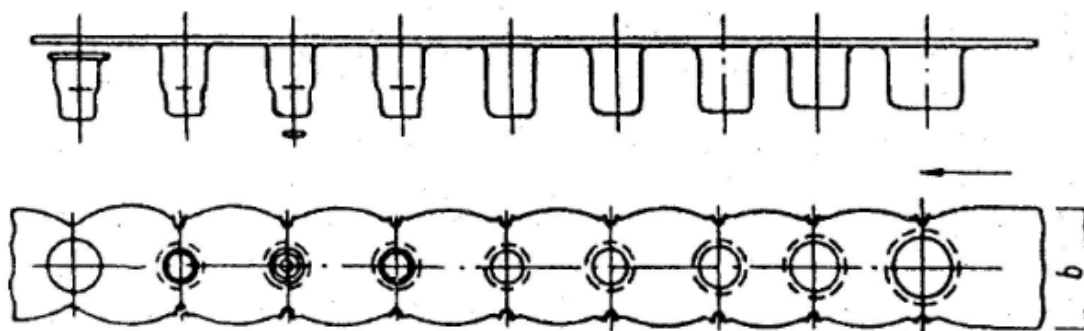
Postupové tažení v pásu se používá převážně ve velkosériové výrobě pro výrobu drobných dutých výtažků. Tažení se provádí v řadě operací za sebou postupně a jako poslední operace se hotová součást z pásu plechu vystříhne. Rychlým sledem tažných operací za sebou se eliminuje stárnutí materiálu. Tažení se provádí na hydraulických, excentrických nebo speciálních klikových lisech, jejichž počet zdvihů je 60 až 160 za minutu.

V technologickém návrhu výroby musí být stanoveno několik základních faktorů jako:

Celkový počet tahů s jejich rozměry, velikost a tvar prvního tahu, velikost jednoho kroku (posuvu pásu), šířku pásu, průměr kružnice ohraničující potřebný materiál v pásu, poloměry zaoblení funkčních ploch tažníku a tažnice a povrch konečného výtažku.

Postupové tažení se rozděluje na:

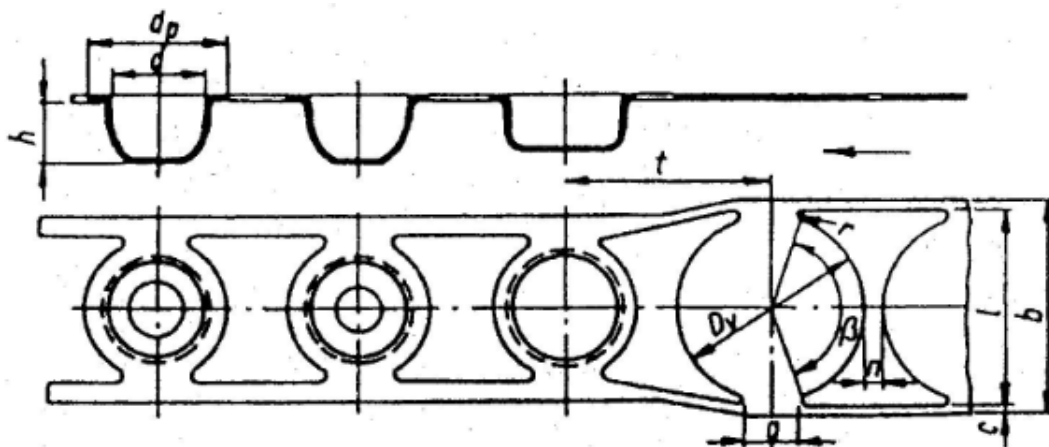
- Výtažky bez nástřihu v jedné řadě s částečným ztenčením stěn (nástroje pro tento způsob tažení jsou sice levnější, ale při vedení pásu vznikají potíže v příčném i podélném směru a na okrajích se pás deformuje). Tento způsob se používá k tažení tlustého a plastického materiálu při výrobě mělkých součástí (šířka plechu $s \geq 0,05 \cdot d$, kdy d je průměr hotové součástky).



Obr. 18 – Postupové tažení bez nástřihu pásu [3]

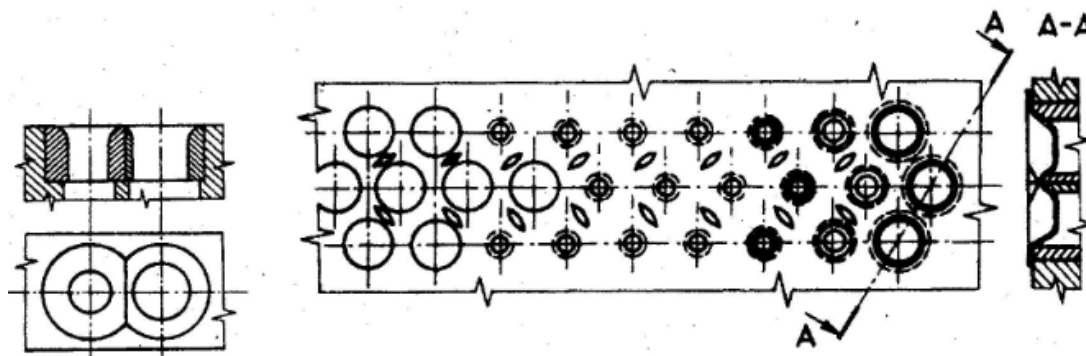
- Několikařadé výtažky bez nástřihu se ztenčením stěn (při tomto způsobu tažení se kvůli deformacím okrajů pásu volí součinitel odstupňování pro všechny tahy $M = 0,9$)
- Výtažky s nástřihem v jedné nebo více řadách bez ztenčení stěn (používá se v případech, kdy ztenčení stěn není žádoucí a u plechů s tloušťkou $s > 0,6\text{mm}$. V nástroji jsou zabudovány střížné části, takže je dražší, ale vhodné nastřížení pásu zabráňuje jeho deformaci. Nastřížení pásu zabráňuje jeho deformaci a výtažky jsou v něm drženy jen úzkými můstky. Součinitel odstupňování tahů se volí zpravidla o

málo vyšší, než u běžného tažení. Nástroj je však dražší kvůli přidavným střížným částem.



Obr. 19 – Postupové tažení s nástřihem v jedné řadě [3]

- d) Výtažky s natrháváním pásu a částečným zpevněním stěn (natržení pásu se dosáhne zabroušením dvou sousedních vložek tažného nástroje, kdy se materiál natrhne o ostrou hranu tažnice). Tímto natržením má za následek snazší vtahování materiálu do tažnic a s každým dalším tahem se toto natržení zvětšuje.



Obr. 20 – Postupové tažení s natržením pásu [3]

4 POSTUPOVÉ LISOVÁNÍ

Postupové lisovací nástroje se konstruují v případě sloučení několika tvářecích technologií, jako jsou stříhání, ohýbání a tažení do jednoho nástroje. Princip postupového nástroje spočívá v tom, že při jednom pracovním kroku proběhne několik operací současně. Každá operace (může jich být libovolný počet podle velikosti nástroje a složitosti výlisku) při lisování trvá vždy stejnou dobu, aby byl dodržen plynulý chod lisovací linky. Tomuto času se říká doba taktu, po kterou nástroj podle potřeby polotovaru (plech) tváří tak, že stříhá otvory, plech táhne, ohýbá atd. podle potřeby do konečného tvaru, kdy poslední krok je odstříhnutí výlisku z pásu. Po poslední operaci je výsledkem hotová součást.

Postupové nástroje jsou vhodné pro výrobu menších až středně velkých výrobků vyráběných ve velkých sériích. Pro menší série by byla investice do postupového nástroje velice nerentabilní.

Proces výroby je zcela automatický a obsluha lisovací linky musí zasáhnout jen ve chvíli, kdy na automatické odvíječce plechu dojde svitek, který je zapotřebí vyměnit za nový a založit pás do nástroje. Tyto automatické lisovací linky se skládají z lisu, postupového nástroje, podavače materiálu, rovnačky a odvíječky materiálu (v případě tažení i zařízením na mazání plechu).

Jedna z nejmodernějších lisovacích linek v Evropě byla právě otevřena v hlavním výrobním závodě společnosti Škoda v Mladé Boleslavi. Nejpodstatnější inovací plně automatizované linky je použití nezávislých servomotorů pro každý lisovací stupeň, což přináší vyšší flexibilitu a 15% úsporu energie díky její akumulaci při lisování velkých dílů. Tuto rekuperovanou energii linka uchovává ve vnějším zásobníku a využívá ji k vyrovnávání okamžitých energetických špiček. Linka je kompletně kapotována a výlisky jsou v ní dopravovány pomocí robotů, kteří na konci linky odkládají hotové výrobky na pás ke kontrole. Lisovací síla je 81000kN a za minutu zvládne lis 17 cyklů. [9]



Obr. 21 – Roboty obsluhovaná lisovací stanice [9]



Obr. 22 – Nová servomechanická lisovací linka PXL od společnosti Schuler [9]

5 ZADÁNÍ NÁSTROJE

Firmě KARSIT HOLDING, s.r.o. byla zadána výroba postupového lisovacího nástroje od firmy Johnson Controls GmbH Germany. Tento postupový nástroj je konstruován jako dvounásobný a výlisek bude sloužit jako závěs pantu (tumble stay hinge bracket) pro zadní nákladové dveře modelu Ford Transit. Lisování dílu bude probíhat v lisovně firmy KARSIT HOLDING, s.r.o. v Jaroměři po dobu šesti let. Výlisky budou dále dodávány do firmy Johnson Controls GmbH v Německu.



Obr. 23 – Model výlisku závěsu pantu



Obr. 24 – Kompletní sestava závěsu dveří

Před oficiální objednávkou však musí firma vyhrát ve výběrovém řízení tím, že stanoví předpokládanou cenu na výrobek tak, že konstruktér odhadne předběžný počet kroků nástroje, jeho délku a potřebnou sílu lisu. Tento odhad rozhodne o zadání zakázky, ale také o tom, zda nebude zakázka při problémech s výrobou ztrátová. Zákazník po odsouhlasení dodá nástrojárně veškerá potřebná technická data pro výrobu nástroje. Podle těchto dat, jako jsou počty vyrobených kusů za minutu a životnost nástroje se zaručeným počtem vyrobených výlisků, vytvoří konstruktér layout. Tento layout neboli nástřihový plán s určitým počtem kroků se dále konzultuje se zadávající firmou Johnson Controls GmbH a s technologem lisování firmy, která bude nástroj provozovat, v tomto případě KARSIT HOLDING, s.r.o. Po odsouhlasení se začíná postupový nástroj kreslit a modelovat. Tato fáze trvala celkem 144 hodin a poté se sestava opět konzultovala se zákazníkem a lisovnou (technologem lisování), kvůli normálím pro snadnou výměnu opotřebovaných dílů, materiálu, mazání... Poté proběhlo detailování nástroje, určila se rozpiska, vytvořila výkresová dokumentace a objednal se materiál a potřebné normálie. Po převzetí materiálu a normálií začala samotná výroba jak ve firmě KARSIT HOLDING, s.r.o., tak v kooperaci s ostatními firmami. Výroba a odzkoušení nástroje a výlisků je dále popsána v následujících kapitolách.

6 LISOVACÍ LINKA KARSIT HOLDING, S.R.O. JAROMĚŘ

Hlavním parametrem pro volbu lisu je výpočet potřebné celkové tvářecí síly při lisování, která je v našem případě 270 tun. Lisovací stroj musí mít větší jmenovitou sílu, aby kvalitně vylisoval součást na hotovo, neničil se nástroj ani lis a prodloužila se jejich životnost. Jako vhodný stroj byl vybrán hydraulický lis MW 450T v sídle společnosti KARSIT HOLDING, s.r.o. v Jaroměři, kde se budou díly pro firmu Johnson Controls GmbH Germany lisovat.

Pro zvýšení výkonnosti lisu a automatizace se k lisu přidávají další zařízení, které materiál do nástroje automaticky podávají. Konstrukce těchto zařízení jsou velmi rozmanité a záleží na velikosti lisu a stupni automatizace celého procesu lisování. V našem případě je lisovací linka složena z odvíječe svitku plechu, rovnačky plechu, dopravníku výlisků a lisu MW 450T, jehož součástí je podavač plechu do lisu s mazacím zařízením. Tyto části linky jsou dále v této kapitole blíže popsány.



Obr. 25 – Lisovací linka firmy KARSIT HOLDING s.r.o.

6.1 Odvíječ svitku

Odvíječ svitku plní při procesu lisování důležitou roli tím, že slouží k upnutí a odvíjení potřebné délky pásu plechu do lisovacího stroje. Tato odvíječka typu V8000 A-SH-800-S slouží pro svitky o vnitřním průměru 480-520mm a váze 8000kg. Šíře pásu pro odvíjení je pro tento typ stanovena od 150mm do 800mm. V našem případě je svitek široký 198mm. Svitek je upevněn na ramenu pomocí čelistí, které ho vystředují. Plech je z odvíječe veden do rovnačky.

*Obr. 26 – Odvíječ svitku*

6.2 Rovnačka plechu

Rovnačka slouží k rovnání plechu za studena pro následný proces podávání. Použitá rovnačka typu RMB 70.800 UG je konstruovaná pro protažení 0,6 - 4mm silného plechu při maximální rychlosti 25m za minutu. Před vstupem plechu do rovnačky je materiál zbavován nečistot pomocí čistícího válce. Rovnání svitku probíhá mezi dvěma řadami kalených válců, mezi kterými je 2mm silný plech protahován. Tyto válce jsou pro větší tuhost podepřeny válcí podpěrnými.

*Obr. 27 – Rovnačka plechu*

6.3 Podavač plechu s mazacím zařízením

Je součástí lisu a slouží k podávání pásu do nástroje při tvářecím procesu. Posuvný přístroj WEP 80 je složen ze dvou válců o průměrech 160mm, mezi kterými pás plechu prochází. Válce jsou proti sobě otáčeny a vtahují pás do nástroje. Jejich pracovní cyklus je nastaven rychlostí lisování a pracovním krokem, podle nichž konají válce přerušovaný pohyb a jsou poháněny hřídelem lisu. Podávací zařízení je programovatelné, kdy do jeho řídicí paměti lze nahrát údaje o různých postupových nástrojích. Po upevnění nástroje na lis lze z paměti ihned do podávacího zařízení nahrát údaje o rychlosti podávání plechu,

posuvu a dalších přednastavených parametrů pro lisování. V našem případě je posuv pásu nastaven na 97mm, o které se posune každé 2 sekundy. Mazací zařízení je umístěno za podavačem a nanáší mazivo na plech před vstupem do nástroje. Mazivo slouží ke snížení tření a ochlazení nástroje, čímž přispívá k prodloužení jeho trvanlivosti. Zejména u protahování má mazání velký význam, kdy se protahovadlo díky mazivu z výlisku snáze vyhazuje.

*Obr. 28 – Podavač plechu s mazacím zařízením**Obr. 29 – Detail mazacího zařízení*

6.4 Hydraulický lis MW 450T

Použitý lis od firmy Müller Weingarten je dvoustojanový stříhací a tvářecí automat typu HUQ 450.30, jehož základní parametry jsou:

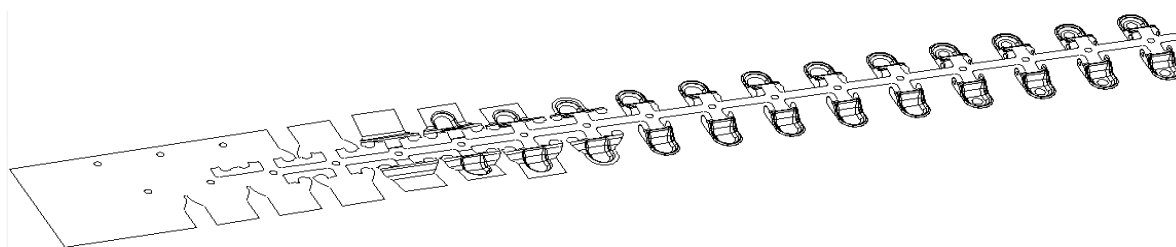
Lisovací síla:	4500 kN
Zdvih beranu:	20 – 70/min
Rozměry stolu:	3000 x 1400mm

*Obr. 30 – Hydraulický lis MW 450T*

Za nástrojem upnutým v lise je přistaven pásový dopravník, po kterém jsou výlisky z prostoru lisu odváženy a paletizovány.

7 TECHNOLOGICKÉ OPERACE LISOVÁNÍ PLECHU

Při postupovém lisování je plech tvářen v 18 ti krocích, při kterých je plech děrován, stříhán, ohýbán, tažen, lemován, kalibrován a jsou na něj vyražena výrobní čísla. Tyto kroky jsou dále popsány v této kapitole. Plech prochází postupovým lisovacím nástrojem, kdy při každém zdvihu je posouván o krok a to 97mm každé 2 sekundy. Počet zdvihů je tedy 30 za minutu. Jelikož je nástroj dvounásobný, což je patrné z layoutu na obrázku 31, vyrobí se za minutu 60 výlisků.



Obr. 31 – Layout výroby výlisku

7.1 Materiál výlisku

Pro lisování je použit svitek mikrolegované vysokopevnostní konstrukční oceli číslo W.Nr. 1.0980 (značka dle EN: S420SC), který je vhodný pro náročné tváření za studena a jeho výlisky jsou vhodné pro automobilový průmysl.

Tab. 6 – Chemické složení oceli 1.0980 [13]

Chemické složení [hm. %] – maximální hodnoty									
C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V	Ti	Nb+V+Ti
0,12	0,50	1,60	0,025	0,015	0,015	0,09	0,20	0,15	0,22

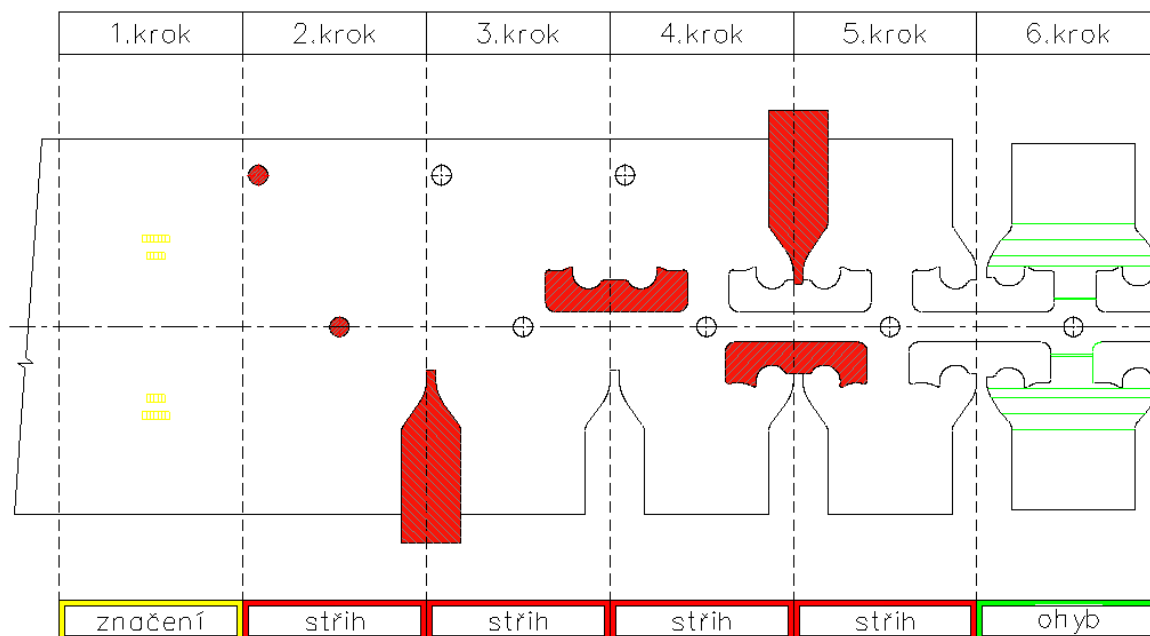
Tab. 7 – Mechanické vlastnosti oceli 1.0980 [13]

Mechanické vlastnosti	
Rozměr t [mm]	menší než 3
Mez kluzu R_e [MPa]	420
Mez pevnosti R_m [MPa]	480 – 620
Tažnost A [%]	16
Stav	termomechanicky válcováno

Plech je při lisování odvíjen ze svitku. Tloušťka pásu je 2mm a jeho šířka 198mm. Délka plechu v nástroji je 1772,5mm a při lisování a posunu na další krok je pás přizvednut o 25mm.

7.2 Postup výroby

V této kapitole je popsáno a na schématech znázorněno všech 18 kroků pro vylisování součásti. Z důvodu přehlednosti schémat jsem pás rozdělil na 3 navazující sekce po šesti krocích.



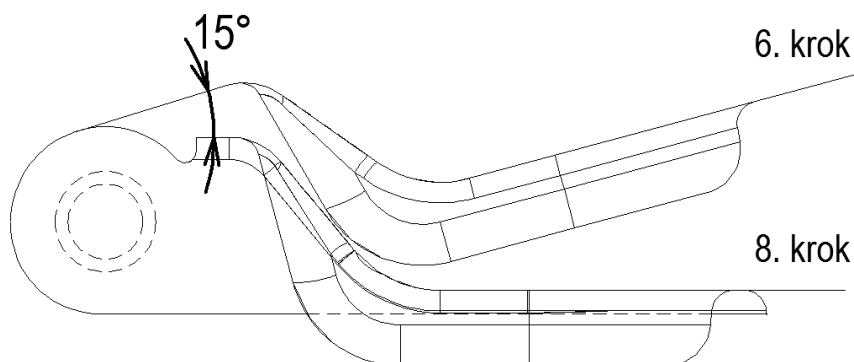
Obr. 32 – Schéma 1. až 6. kroku při lisování

1. krok: značení – Rzníky do plechu vyrazí výrobní číslo lisované součásti a to 2383213. Jelikož je nástroj dvounásobný, je výlisek na pravé straně odlišen od pravého výlisku hvězdou, která je vyražena za výrobním číslem. Při odzkoušení nástroje se po vylisování dílů měří jejich tolerance. Jsou-li tyto tolerance překročeny, podle vyraženého symbolu hvězdy se určí, v jaké polovině nástroje byl výlisek vyroben. Tato polovina nástroje je poté odladěna, aby oba shodné výlisky byly vyrobeny v požadovaných tolerancích. Dalším vyraženým údajem je nad výrobním číslem zkráceně rok a týden výroby výlisku. Síla lisu při ražení je 10 tun.

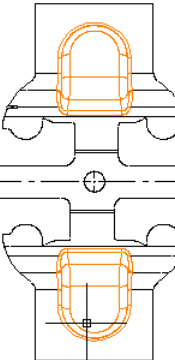
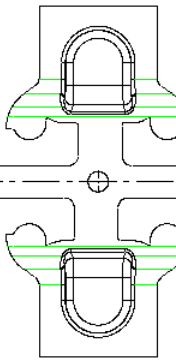
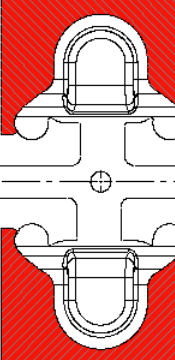
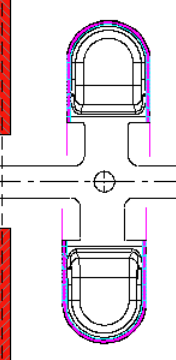
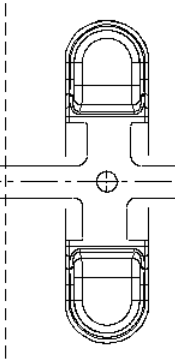
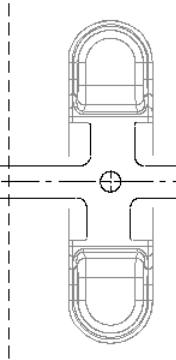
2. krok: střih – Pomocí dvou střižníků a střižnic jsou v plechu v druhém kroku vystřižnuty 2 díry o $\varnothing 10,2\text{mm}$. Tyto otvory slouží pro hledáčky, které při tváření a posuvu pásu tento plech ustavují na požadované místo pro zahájení dalšího kroku. Díra střižená v ose plechu je vedena celým nástrojem a v posledním 18. kroku je odstřižena. Díra vystřižená v horní části plechu je naopak odstřižena už v 5. kroku, kdy v krocích 3 a 4 slouží pro ustavení plechu při procesu střihu. Síla lisu při střihání otvorů pro hledáčky dosahuje síly 8 tun.

3., 4., 5. krok: střih – V těchto krocích se za pomoci nestandardizovaných kalených střižníků a střižnic stříhá základní tvar výstřižku. Při stříhání základního tvaru výlisku je síla lisu při 3. kroku 57 tun, při 4. kroku 26 tun a při 5. kroku 27 tun.

6. krok: ohyb – V šestém kroku je plech poprvé ohýbán, kdy je zapotřebí pro ohyb mezi ohybníkem a ohybnicí síly 15 tun. Výlisek je ohnut do základních tvarů a natočen o 15°.



Obr. 33 – Natočení výlisku v šestém a osmém kroku

7.krok	8.krok	9.krok	10.krok	11.krok	12.krok
					
tah	ohyb	střih	lemování	volný krok	kalibrace

Obr. 34 – Schéma 7. až 12. kroku při lisování

7. krok: tah – V sedmém kroku následuje tah, ve kterém je vytaženo 8mm hluboké dno výlisku, v němž je v 15. kroku vystřižnuta díra. Pro tah musí lis vyvinout sílu 38 tun.

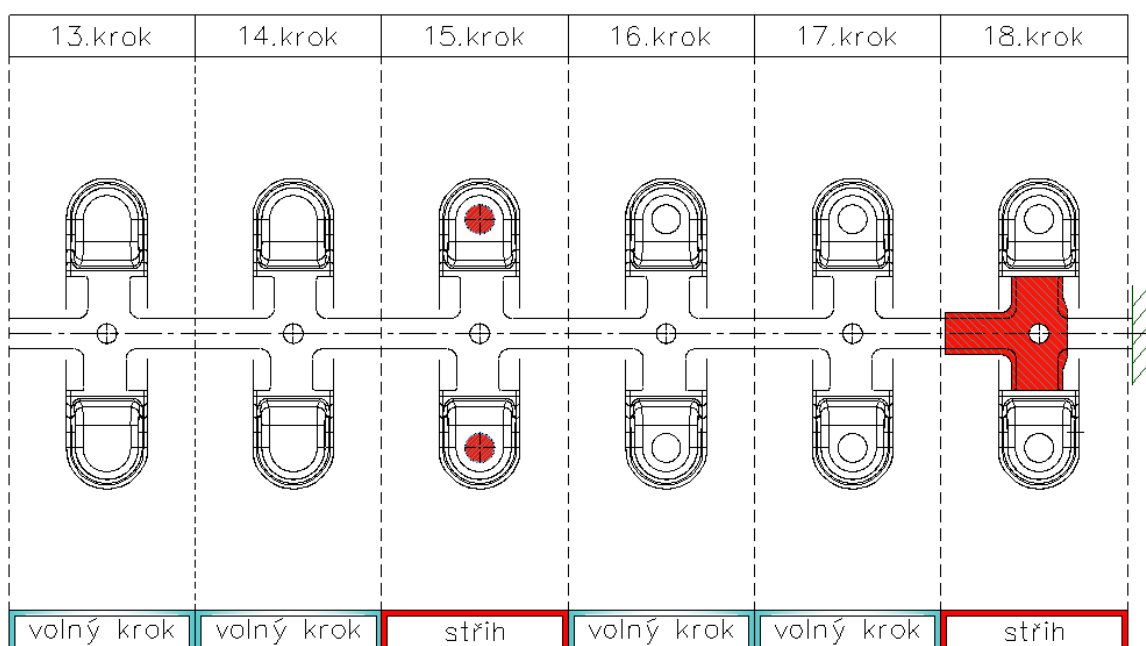
8. krok: ohyb – V osmém kroku je výlisek ohýbán a naklopen zpět do vodorovné polohy, ve které je nastaven do optimální polohy pro následné stříhání. Zároveň jsou naklepnuty packy pro jejich snazší ohnutí při lemování. Potřebná síla lisu pro tuto operaci jsou 2 tuny.

9. krok: střih – Devátým krokem je střih, ve kterém se od výlisku odstříhne všechno přebytečný materiál, kromě materiálu pro přichycení k pásu. Kontura výlisku je dokončená. Pro střih je zapotřebí síly 31 tun.

10. krok: lemování – Pro lemování v 10. kroku je nutné dokonalé sevření součásti. Lem se na výlisku provádí v tomto kroku jak kruhový, tak přímý, pomocí kterého se packy otočí o 45° do své konečné polohy. Pro lemování je zapotřebí vyvinout sílu 17 ti tun.

11. volný krok – Přes tento volný krok se výstřižek pouze posune na další krok. Volné kroky v nástroji se používají pro odlehčení lisu, při použití rozměrnějších jednotek jako jsou například speciální závitovací vložky nebo střižné klíny atd. Volné kroky se také vkládají na přání zákazníka pro vložení kroku potřebného pro pozdější změny na výlisku.

12. krok: kalibrace – Ve 12. kroku se výstřižek kalibruje, čímž se docílí jeho požadovaných rozměrů, přesných tvarů a zamezí se odpružení materiálu. Pro kalibraci vyvine lis sílu 7 tun.



Obr. 35 – Schéma 13. až 18. kroku při lisování

13., 14., 16., 17. krok – Opět volné kroky. Výlisek jimi také jen prochází a to k 15. kroku, kdy se ve výlisku vystřihují díry a ke konečnému 18. kroku, ve kterém je výlisek odstříhnut. Tyto volné kroky jsou zde umístěny z důvodu velikosti střižných klínů pro 15. krok, ale slouží také samozřejmě pro odlehčení nástroje.

15. krok: střih – Poslední operace na výstřižku, kdy v tažené části střižníky vystřihnou díry o Ø 15,1mm a pomocí klínových jednotek a kulis, ve kterých jsou umístěny střižníky a

střižná pouzdra, jsou vystříhnuty díry v packách a to o $\varnothing 6,7\text{mm}$ a $\varnothing 9\text{mm}$. Lis pro tento krok musí vynaložit sílu 28 tun.

18. krok: separace – V závěrečném 18. kroku jsou výstřižky odstříhnuty od pásu. Výstřižky padají skluzu na pásový dopravník, po kterém jsou od lisu odváženy do sběrných košů. Odstříhnutý plech je propadem odváděn pod lis. Na poslední krok lis vynaloží sílu 8 tun.



Obr. 36 – Layout výroby výlisků

Celková lisovací síla je 270 tun, z čehož je 181 tun síla pro stříh, 41 tun síla pro ohyb, 38 tun pro tah a 10 tun potřebných pro vyražení značení.



Obr. 37 – Postup pásu v nástroji mezi lisovacím cyklem

8 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY NÁSTROJE

Při výrobě postupového nástroje pro firmu Johnson Controls GmbH Germany byla použita v nástrojárně firmy KARSIT HOLDING, s.r.o. řada obráběcích technologií. Nástroj se začal vyrábět v prosinci roku 2012 po objednání a doručení potřebného materiálu a normalizovaných prvků pro horní a dolní část postupového nástroje. Výroba nástroje kladе vysoké požadavky na dodržení přesných rozměrů, tolerancí a drsností. Pro samotnou výrobu, jak konvenčními tak nekonvenčními technologiemi obrábění, je potřeba velice zkušených obráběčů a kvalitního strojního parku. Firma KARSIT HOLDING, s.r.o. splňuje tyto požadavky, avšak některé úkony, jako je vakuové kalení, rovinné broušení rozměrných polotovaru, laserové řezání a řezání vodním paprskem a laserové navařování provádí v kooperaci s jinými firmami.

Samotná výroba postupového lisovacího nástroje trvala od prosince 2012 do dubna 2013 a zabrala celkem 1804 pracovních hodin. Z těchto 1804 hodin zabralo 39 hodin vakuové kalení namáhaných funkčních částí nástroje v kooperaci s firmou Czech Metal Olomouc s.r.o., která tyto díly kalí ve vakuových kalících komorách a 379,5 hodin, které zabralo broušení. Firma KARSIT HOLDING, s.r.o. bohužel zatím nemá brusku pro úhlové broušení, proto byla tato operace prováděna v kooperaci s pobočkou firmy Siemens s.r.o. sídlící v Mohelnici. Úhlové broušení zabralo firmě Siemens s.r.o. celkem 62 hodin.

Hlavní technologie jsem rozdělil do 3 částí a to na třískové obrábění, elektroerozivní obrábění a poslední skupinou jsou ruční práce. Vzhledem k celkovému času výroby zabírá třískové obrábění 37,3% času výroby, elektroerozivní obrábění 26% času výroby a ruční práce 36,7%.

8.1 Třískové obrábění

Po přejímce materiálu proběhlo v nástrojárně nejprve jeho základní opracování, při kterém je zbaven nečistot a základně ofrézován. Základní opracování povrchu trvalo celkem 90,5 hodiny. Dále se nástroj vyráběl pomocí:

Frézování – Konvenčním frézováním na frézkách FGU 32 a FA5-V je stráveno jen 98 hodin.

Soustružení – Z třískového obrábění je nejméně využívané soustružení, při němž stráví obráběč u soustruhu 25 hodin.

CNC obrábění – Obrábění probíhalo na nově pořízeném vertikálním obráběcím centru HARTFORD PRO-1000AP, které od září 2012 posílilo strojový park pobočky firmy KARSIT HOLDING, s.r.o. v Postřelmově. Centrum má automatický zásobník na výměnu 24 nástrojů a je řízeno systémem FANUC OiMD. Pojezdy v ose x – 1000mm, y – 600mm a ose z – 630mm. Centrum je doplněno o otočný stůl pro čtvrtou osu. Na centru se nástroj obráběl 352 hodin.



Obr. 38 – Nové obráběcí centrum HARTFORD PRO 1000AP

Souřadnicové vyvrtávání – Bylo prováděno na souřadnicové vyvrtávačce SIP po dobu 42 hodin.

8.2 Elektroerozivní obrábění

Řezání – Pro zhotovení nástroje se řezalo na drátových řezačkách MAKINO U 53K a FANUC celkem 349 hodin.

Hloubení – Hloubení probíhalo na hloubičce MAKINO EC NC 64 a zabralo celkově 12 hodin a pro hloubení bylo vyrobeno celkem 9 měděných elektrod.

8.3 Ruční práce

Ručními pracemi se myslí práce nástrojaře při kompletování nástroje a jeho následných úpravách a korekcích. Nástrojař také opracovává složitější tvary pomocí brusných kamenů s použitím brusných a leštících past pro zhotovení požadované drsnosti povrchu na nástroji.

Práce nástrojaře – 359 hodin

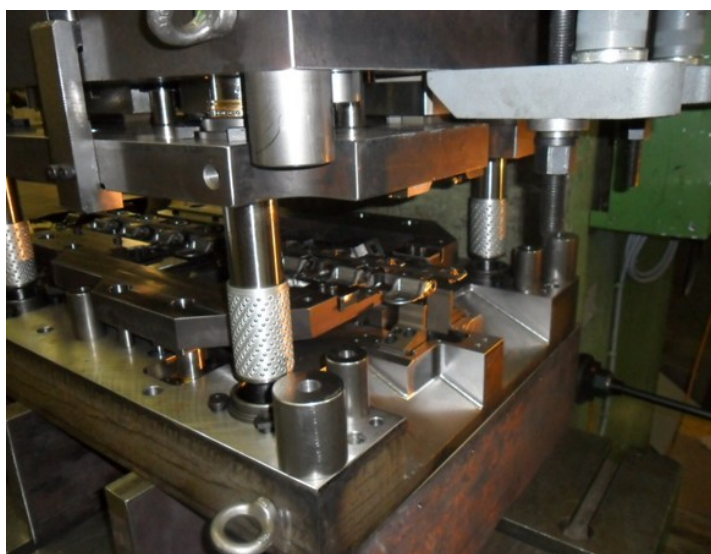
Navařování – 24 hodin

Odzkoušení – 78 hodin

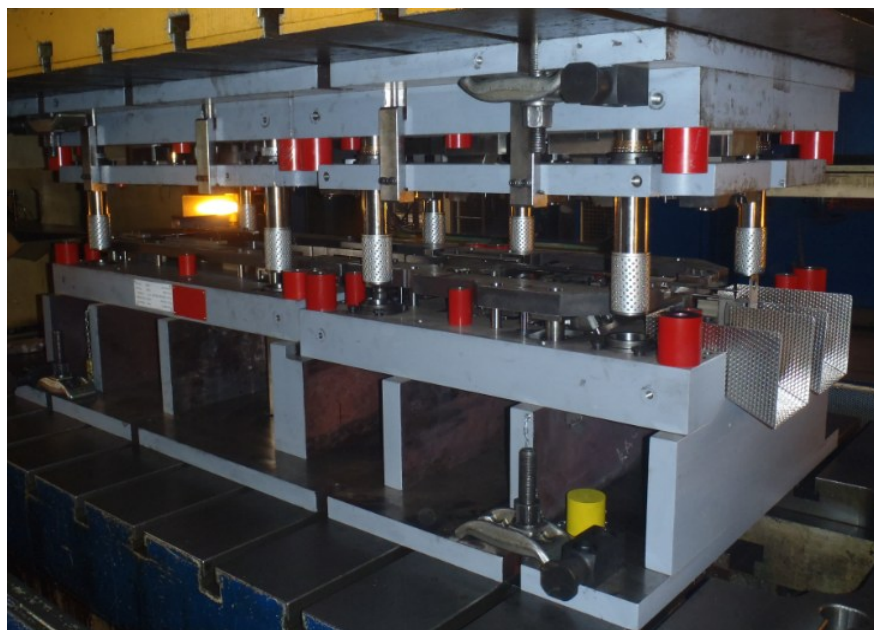
Měření – 46 hodin

9 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ LISOVACÍHO NÁSTROJE

Konstrukce dvounásobného nástroje je řešena na 2 části nástroje, a to části střížnou a tvarovací z důvodu malé velikosti lisu v nástrojárně firmy KARSIT HOLDING, s.r.o. v Postřelmově. Každá část nástroje se vyrobila a odzkoušela na hydraulickém lisu PYE 250T, jehož rozměry stolu jsou 900 x 630mm a lisovací síla 250 tun. Tyto odzkoušené nástroje se dále připevnilly na spodní a horní upínací desku a vznikl tak kompletní postupový lisovací nástroj, který byl převezen do sídla firmy v Jaroměři a upnut na určený lis MW 450T, na kterém následovalo odzkoušení.



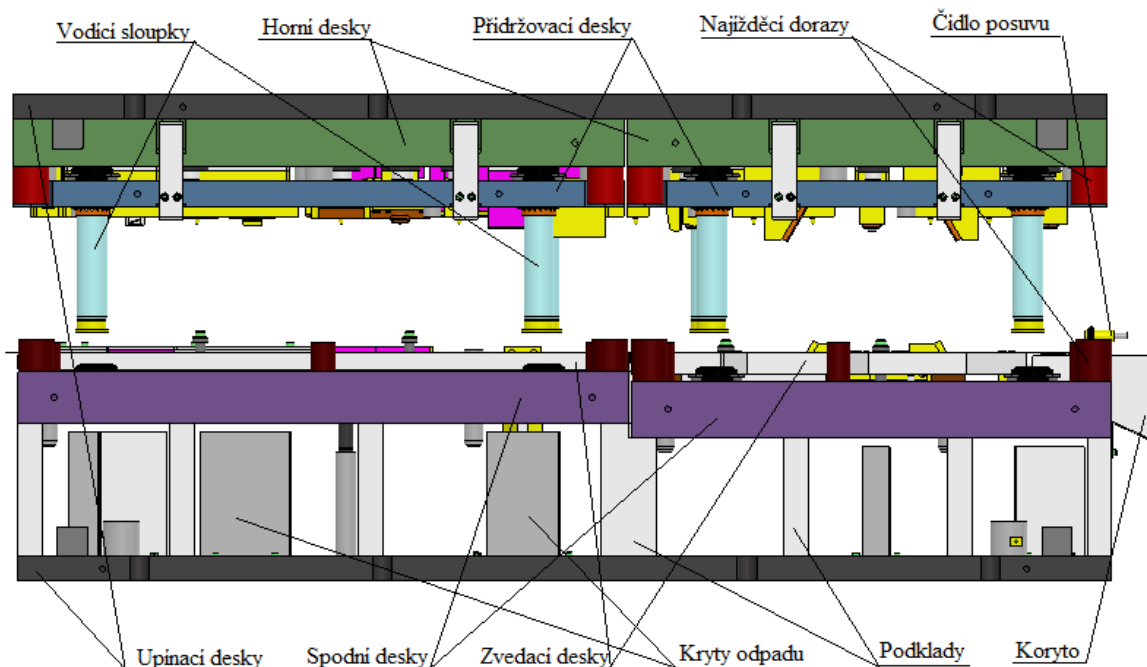
Obr. 39 – Odzkoušení tvarovací části nástroje na lisu PYE 250T



Obr. 40 – Kompletní postupový nástroj upevněný na lis MW 450T v Jaroměři

9.1 Konstrukční části nástroje

Těmito konstrukčními (které jsou dále popsány) částmi myslím ty, které neovlivňují tvar plechu, ale zajišťují správný chod a ukotvení funkčních částí nástroje.



Obr. 41 – Schéma konstrukčních částí nástroje

Upínací desky – Slouží pro spojení nástroje s lisem. Horní deska je připevněna k horní upínací desce a spodní upínací deska je propojena se spodními deskami pomocí podkladů kvůli dosažení celkové zástavbové výšky nástroje na daný lis. Upínací desky, stejně jako ostatní desky (spodní, horní, přidržovací, zvedací a vodící) v nástroji jsou vyrobeny z nelegované konstrukční oceli 1.0570 (ČSN 11 523) a jejich polotovarem byl před opracováním výpalek. Rozměry horní upínací desky jsou 1800x850x40mm a spodní upínací desky 1800x920x40mm.

Spodní desky – Spodní desky jsou uloženy na podkladech, pod kterými jsou uloženy kryty odpadu. Ve spodních deskách jsou vyrobeny otvory, kterými pod lis propadává ostřížený materiál. Ten je dále pomocí dopravníku odvážen mimo lisovnu a recyklován. V deskách, které jsou od sebe navzájem odstupňovány, jsou uloženy prvky pro tváření plechu, plynové pružiny, dosedací dorazy a spojovací materiál. Rozměry první spodní desky jsou 1005x650x85mm a druhé 790x650x95mm.

Zvedací desky – Slouží pro posun plechu v nástroji. Jakmile lisovací nástroj vykoná pracovní krok, lis vyjede do své horní polohy. V tu chvíli zvedací deska nadzvedne plech,

který je o jeden krok posunut. Posunutí zajišťuje podavač a vodící lišty, které jsou ke zvedací desce instalovány. Vodící lišty zajišťují správné vedení pásu v pracovním prostoru nástroje. Po posunutí se zvedací deska vrátí do své dolní polohy a pás plechu je ustaven pomocí hledáček. Rozměry zvedacích desek jsou 1005x410x28mm a 650x540x37mm.



Obr. 42 – Vodící lišty

Horní desky – Tyto desky společně se základovou deskou vyjíždí s lisem při jeho zdvihu mezi kroky. Na této desce jsou upevněny tvářecí prvky, dosedací dorazy, spojovací materiál a vodící sloupky. Rozměry horních upínacích desek jsou pro první desku 1005x650x80mm a pro druhou desku 790x650x80mm.

Vodící sloupky – Jsou základem nástroje, protože tyto vodící sloupky zajišťují jeho tuhé vedení a tím i přesnost výlisku. Na vodících sloupcích jsou uloženy ložiska v podobě klecí s kuličkami, které zaručují vedení přesné na tisíce milimetru. Vodící sloupky i klece s kuličkami jsou normalizované dílce. Tyto dílce vyrábí firma Fibro, od které jsou na nástroji použity 3 druhy vodících sloupku a to:

2021.46 – výměnné vodící sloupky s osazením a držáky ISO 9182-5

2022.25 – vodící sloupky se zápichem přídržného kroužku

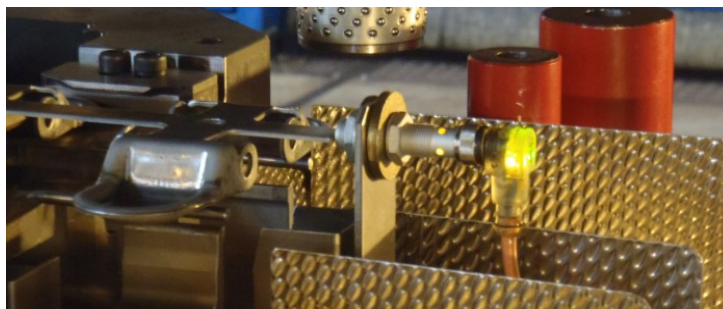
202.23 – vodící sloupek ISO 9182 určený k zalisování s upínacím závitem [11]



Obr. 43 – Vodící sloupky s kuličkovými klecemi

Přidržovací desky – Zajišťují správné vedení vodících sloupků (jsou skrz tyto desky také vedeny klecemi s kuličkami). Mezi přidržovacími deskami a horními deskami jsou instalovány dosedky a plynové pružiny. Zmíněné dosedky jsou vyrobeny z oceli 11 600 o průměru 40, 45 a 60mm a plynové pružiny jsou normalizované dílce dodávané firmou Azol-gas. Samotné přidržovací desky mají rozměry 1005x650x45mm a 790x650x45mm.

Čidlo posuvu – Je instalováno na konci spodního dílu nástroje nad korytem pro skluz hoto- vých výlisků. Čidlo slouží k posuvu plechu o žádaný krok. Funguje na magnetickém prin- cipu, takže se ho plech nedotýká, ale spouští se již 2 milimetry před ním.



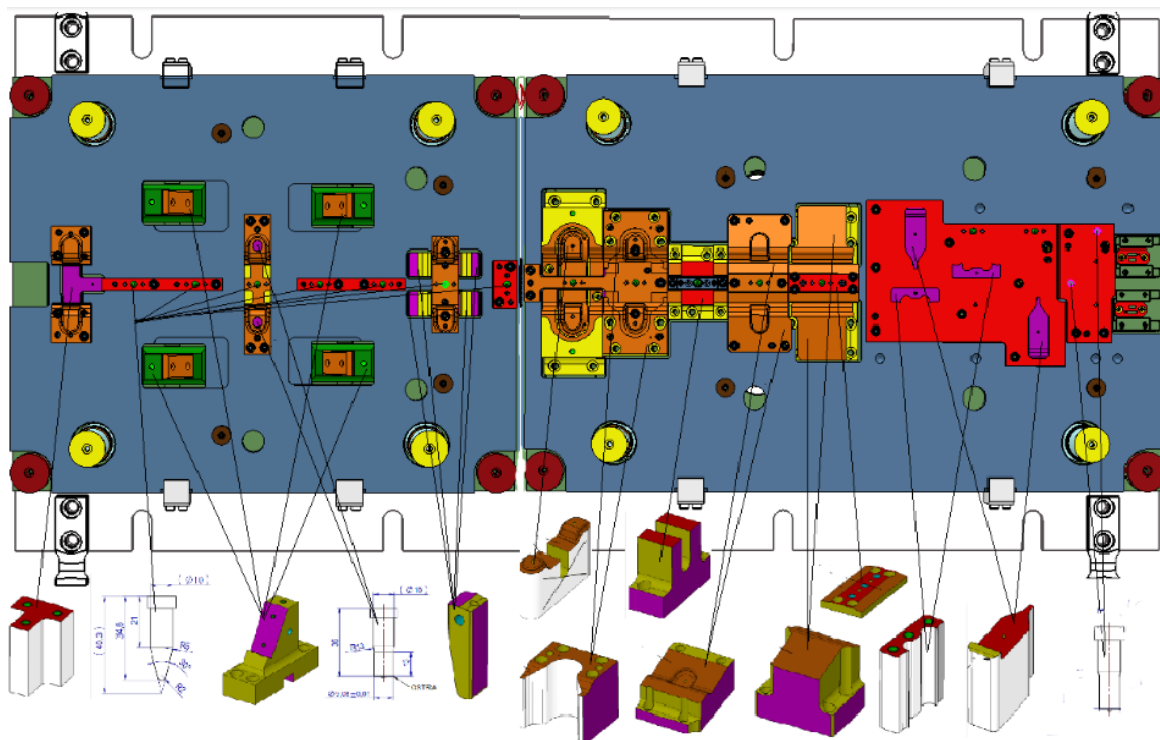
Obr. 44 – Čidlo posuvu plechu

Najížděcí dorazy – Jsou po obou dílech nástroje a nastavuje se na nich výchozí poloha li- sování. Za najížděcí doraz se již nástroj dostat nesmí, hrozily by totiž kolize lisovacích dílu horní a spodní poloviny nástroje. Nastavení těchto najížděcích dorazů ladí nástrojař tak, že do jednoho dorazu vybrousí 1mm vysokou drážku, do níž vloží 2mm vysoký plíšek cínu. Následně spouští horní díl nástroje a po kontaktu s cínem s ním opět vyjíždí. Po změření zploštělého cínu zjistí, o kolik níž musí doraz nastavit.

9.2 Konstrukční části pro lisování plechu

V této podkapitole se zabývám pouze částmi, které lisují plech až do konečné podoby. Konstrukčních částí ovlivňujících tvar plechu je celkem 67. Popsány jsou v následujících kapitolách, které jsou rozděleny na horní a dolní polovinu lisovacího nástroje.

9.2.1 Horní polovina lisovacího nástroje

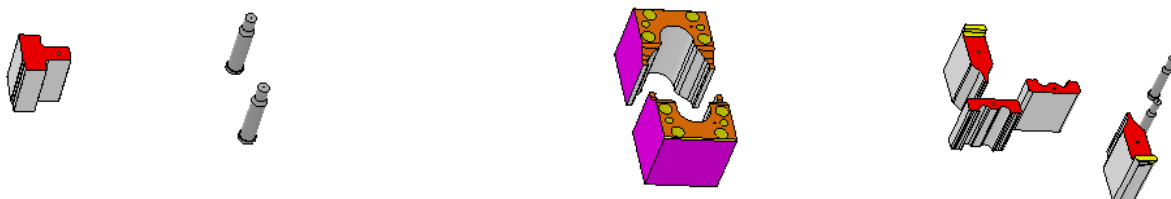


Obr. 45 – Schéma horní poloviny lisovacího nástroje

Domeček ražby – Prvek, který do plechu vyrazí výrobní čísla. Číslo na levém i pravém dílu je shodné, jen na pravém díle je za ním vyražena malá hvězdička. Jak domeček tak doraz ražby jsou vyrobeny z nástrojové legované oceli 1.2842 (ČSN 19 312) a následně zakaleny.

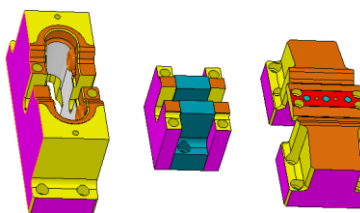
Střížníky – V nástroji je celkem 15 střížníků a z toho 4 střížníky ve spodním dílu nástroje uloženy v kulisách. Střížníky jsou v nástroji použity jak kruhové tak tvarové, které nejsou normalizované a musely se vyrobit. Z technologického hlediska jsou zde použity tři druhy střížníků. Střížníky vystřihovací, které zajišťují vystřihování obrysů v plechu. Střížníky odstřihovací, které odstřihují od výlisku odpad a střížník zvané odstřihovače. Odstřihovače jsou použity v podledním kroku, kde již hotový výlisek odstřihují od pásu. Pro odlehčení tlaku na nástroj jsou střížníky odstupňovány. Nenormalizované střížníky jsou vyrobeny z výkonné nástrojové oceli pro lisování za studena 1.2379 (ČSN 19 573) a zakaleny.

Všechny tvarové části, jako jsou střižníky, ohybníky, tažníky a k nim příslušné matrice, tj. střižnice, ohybnice a tažnice se vyrábějí z důvodů přesnosti tak, že se polotovary nejprve předfrézují (obrobí se požadovaný tvar s přídávkem). Tyto díly s přídávkem se následně zakalí a poté se obrábí načisto definitivní tvar – rozměr. Všechny normalizované kruhové střižníky jsou objednány od firmy Fibro.



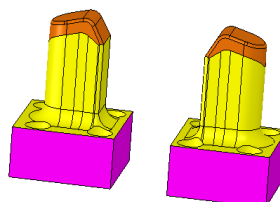
Obr. 46 – Model střižníků

Ohybníky – V nástroji je použito šesti ohybníků, mezi nimiž jsou vloženy 2 kroky a to tažení a střihání. Tyto kroky jsou mezi ohýbáním vloženy z důvodu odlehčení materiálu, aby v ohýbaných místech nepraskal či netvořil trhliny. Po těchto šesti ohybnících jsou v nástroji vloženy také ohybové klíny, které jsou blíže popsány níže. Ohybníky jsou také z výkonné nástrojové oceli pro lisování za studena 1.2379 (ČSN 19 573) a zakaleny.



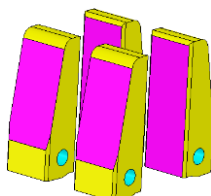
Obr. 47 – Model ohybníků

Tažníky – V nástroji jsou použity pouze 2 tažníky, protože proces tažení se celý vykoná v jednom kroku. Tažníky jsou konstruovány jako vložkové z důvodu snadné výměny vložky tažníku při jejím opotřebení. Jelikož není tah hluboký, v tažnících nemusí být vyrobeny otvory pro odvětrání. Tažníky jsou stejně jako střižníky a ohybníky z výkonné nástrojové oceli pro lisování za studena 1.2379 (ČSN 19 573) a zakaleny.



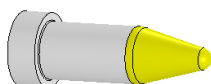
Obr. 48 – Model tažníků

Kalibrovací razníky – jsou speciální skupinou ohybníků, pomocí kterých lze části výlisku ohýbat ve směru kolmém k posuvu plechu. Na plechu ohýba packy, ve kterých se v následujícím kroku vystříhnou díry. Jejich úkolem je zamezit odpružení materiálu a kalibrovat rozměry výlisku. Klíny v nástroji ukončují ohybovou část a dále následuje už jen střízná.

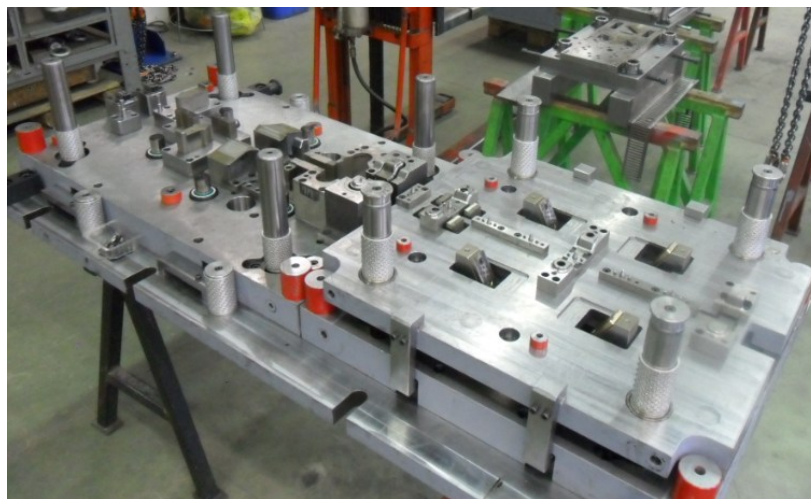


Obr. 49 – Model kalibrů

Hledáčky – Slouží pro přesné vedení plechu v nástroji a zamezují nepřesnostem. Nástroj je vybaven 14 hledáčky, které jsou rozmístěny v celé jeho délce a jsou vedeny středem horní poloviny nástroje. V dolní polovině jsou otvory, kam tyto hledáčky zajiždí. Otvory pro hledáčky se stříhají již ve druhém kroku hned po vyražení seriového čísla do plechu. Jeden otvor je střížen na ose plechu, kterým je však první hledáček veden až v šestém kroku. Druhý otvor je však veden ve čtvrtině šířky plechu, kde jsou dále umístěny alespoň 2 hledáčky, které vedou plech v průběhu prvního stříhání. Po vložení nového svitku plechu však nikdy není prvních 10 kusů přesných. Vyhazují se kvůli nedostatečnému zajetí plechu v nástroji. Hledáčky jsou normalizované díly dodávány firmou Fibro.

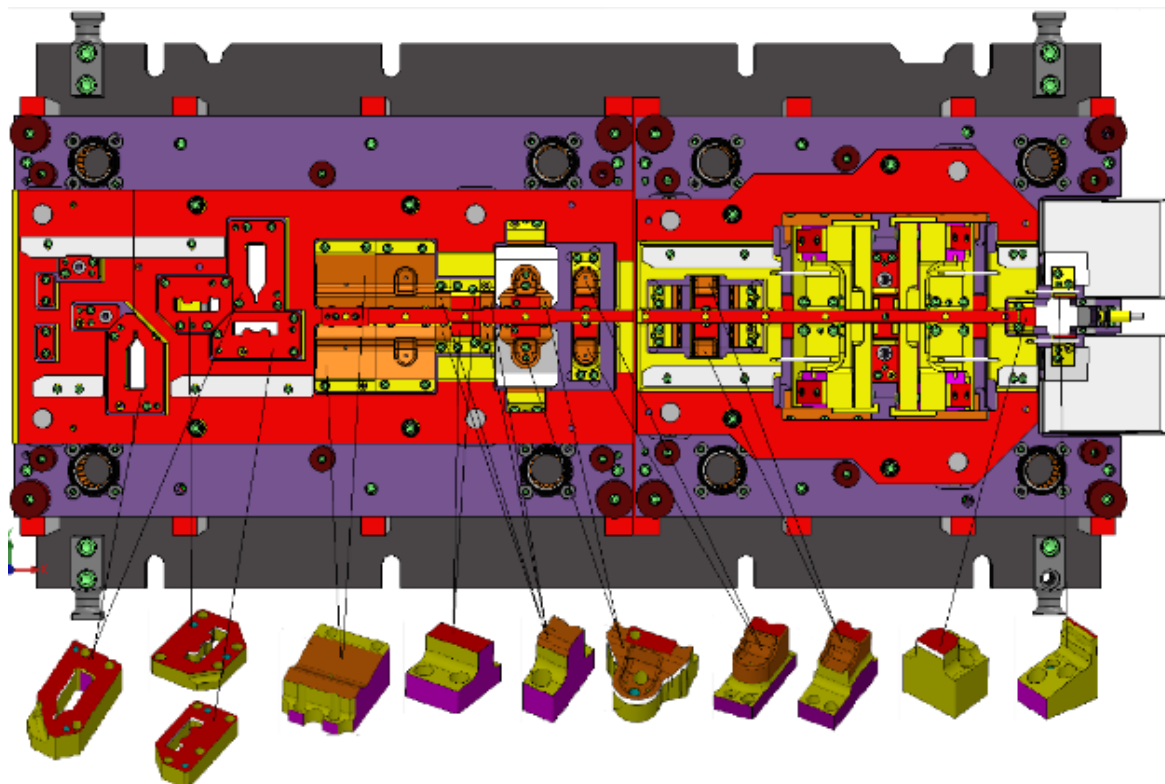


Obr. 50 – Model hledáčku



Obr. 51 – Horní polovina nástroje

9.2.2 Spodní polovina lisovacího nástroje



Obr. 52 – Schéma dolní poloviny lisovacího stroje

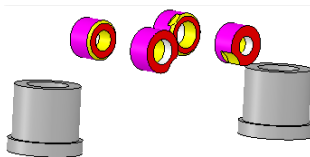
Dorazy ražby – Přidrží plech, aby se při ražení neprohýbal a ražba byla kvalitní a čitelná.

Střižné matrice – Jsou to činné části nástroje upevněné pevně v základní desce. Celkem jich je ve spodní části nástroje umístěno 9 a všechny jsou vyrobeny z jednoho kusu a nejsou normalizované a připevňují se na základovou desku šrouby. Jsou vyrobeny ze stejného materiálu jako střižníky a také zakaleny.



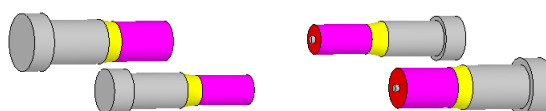
Obr. 53 – Modely střižných matic

Střižná pouzdra – Jsou v nástroji umístěna celkem na 8 místech v kotevních deskách. Střižná pouzdra jsou určena na stříhání kruhových tvarů, pomocí kterých na výlisku vznikají otvory v packách, otvor na dně výlisku v místě po tažení a otvory pro hledáčky. Tyto pouzdra jsou normalizována pro snazší výměnu při opotřebení střižných hran a dodávána firmou Fibro.



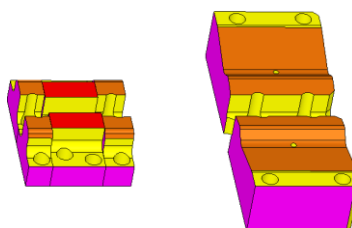
Obr. 54 – Model střížných pouzder

Střížníky – Tyto 4 vystřihovací válcové střížníky jsou normalizované a dodávané formou Fibro. Slouží pro vystřihování děr v packách výlisku. Střížníky jsou umístěny v kotevní desce klínu, prochází přidržovačem klínu a při najetí výlisku vystřihnou plech pohybem v horizontálním směru skrz střížná pouzdra.



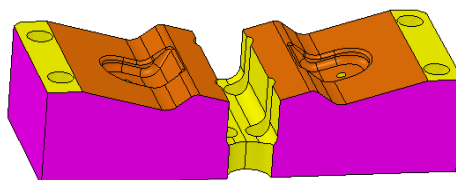
Obr. 55 – Model střížníků v dolní části nástroje

Ohybové matrice – Jsou vyrobeny z jednoho kusu a na nástroji se jich nachází 6. Na základovou desku jsou připevněny šrouby. Jsou kaleny a vyrobeny z materiálu 1.2379 (ČSN 19 573).



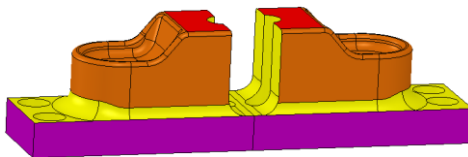
Obr. 56 – Model ohybových matric

Tažnice – Tyto tažnice jsou stejně jako střížnice, ohybnice a ostatní matrice (lemovací a kalibrovací) vyrobeny z výkonné nástrojové oceli pro lisování za studena 1.2379 (ČSN 19 573) a kaleny.



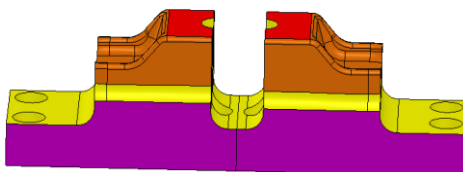
Obr. 57 – Levá a pravá tažnice

Matrice lemování – Slouží pro tvarování lemu. Výlisek za pomoci lemovadla o lemovací matici ohnut do požadovaných tvarů.



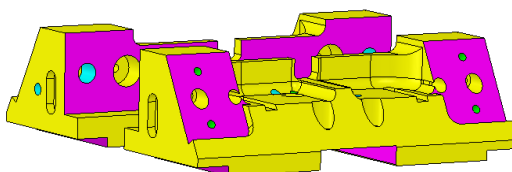
Obr. 58 – Lemovací matrice

Kalibrovací matrice – Po ustavení výlisku do kalibrovací matice se kalibry pevně zapřou o výlisek a matici. Nastane tlak, který výlisek kalibruje a eliminuje odpružení materiálu a to hlavně v místě pacek.



Obr. 59 – Kalibrovací matrice

Kulisy – V kulisách jsou vedeny střižníky, které při lisování vyjedou a vystřihnou v pac-kách díry. Kulisy spouští klínová jednotka a jsou vyrobeny ze zušlechtěné nástrojové oceli 1.2312 (ČSN 19 520).



Obr. 60 - Kulisy



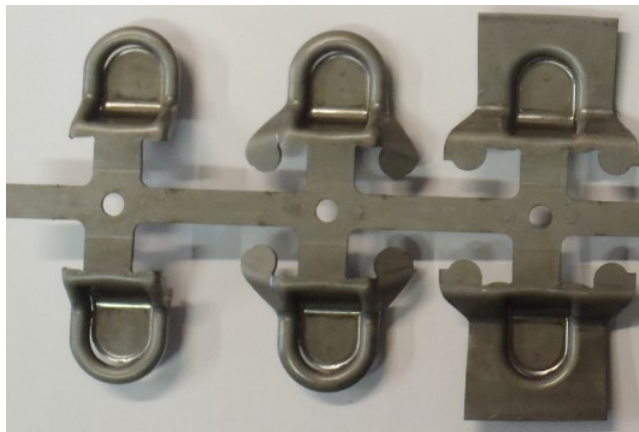
Obr. 61 – Dolní polovina nástroje



Nástroj se skládá celkem z 1597 dílů jak normalizovaných pro snazší výměnu, tak nenormalizovaných a vyrobených v nástrojárně. Jeho hlavní rozměry jsou délka 1800mm, šířka 920mm a výška při sevření 585mm. Celková hmotnost nástroje je celkem 3521kg, z toho spodní díl váží 1817kg a horní díl 1704kg. Zdvih lisu při lisování činí 171mm. Postupový nástroj není bohužel pořád doladěn a tomuto problému je také věnována následující kapitola.

10 ANALÝZA DĚROVÁNÍ PACEK SOUČÁSTI

Při odzkoušení nástroje bylo po změření na výliscích několik konstrukčních vad a na nástroji byly provedeny korekce. Na výlisku vznikl problém s lemem, který byl krátký, a také se v průběhu lemování trhalo dno výlisku. Tato vada byla odstraněna zbroušením střižníku a upravením střižnice, které po úpravě odstřihávají z oblasti lemu méně materiálu. Při lemování je tudíž v místě lemu dostatek materiálu na jeho řádné dokončení.



Obr. 62 – Trhání dna výlisků při děrování

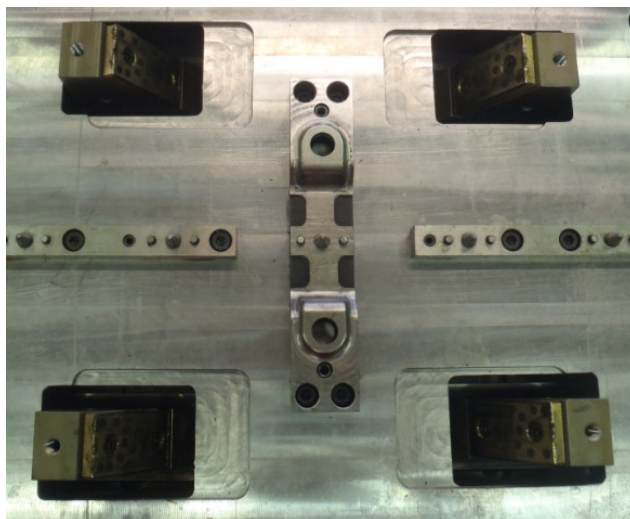
Hlavním problémem, který dodnes nebyl odstraněn a je řešen v této kapitole, se nachází v oblasti pacek. Střižníky, které mají do součásti horizontálně vystříhnout díry pro uložení nýtu, nevystříhnou tyto otvory ve správném místě ani v požadovaných tolerancích. Tolerance děr umístěných v packách výlisku jsou totiž velmi malé a to $\varnothing 6,7^{+0,1}_0 \text{ mm}$ a $\varnothing 9^{+0,1}_0 \text{ mm}$. Při stříhu musí být také splněna předepsaná vzájemná souosost těchto děr. V podkapitolách proto provedu analýzu stávající varianty stříhání děr, která se nachází v patnáctém kroku postupového nástroje a jednu další možnou variantu pro vystřížení otvorů.

10.1 Stávající varianta děrování

Pro děrování pacek a středu dna výlisku je v nástroji určen 15tý krok. Vzhledem k velikosti a složitosti střižného mechanismu musely být přidány 4 volné kroky (13,14,16,17), kvůli nimž je nástroj rozměrnější a také dražší.

Princip vystříhnutí otvorů je takový, že ve vrchní části nástroje jsou instalovány klíny, které jsou opatřeny kluznými deskami z důvodu životnosti nástroje, snadné výměny při opotřebení a hlavně pro správnou funkčnost celého mechanismu. Při lisovacím cyklu totiž klíny po těchto deskách jezdí. Tyto klíny při dosednutí na spodní polovinu nástroje

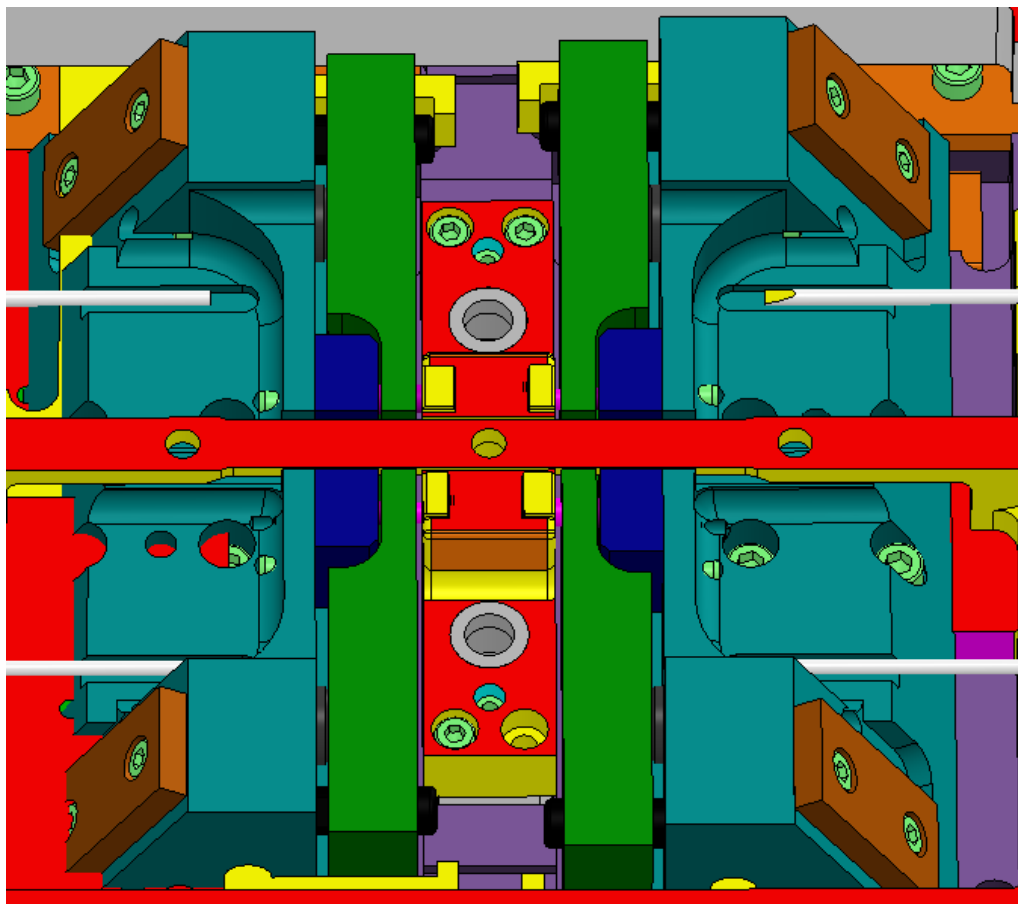
spouští střížný mechanismus. Ve středu horní poloviny nástroje vidíme kruhové otvory pro střížníky, které při lisování vyjedou a vystříhnou ve dnu výlisku díru $\varnothing 15^{+0,2}_0 \text{ mm}$. Střížnice pro tyto vertikálně střížené otvory jsou na obrázku modelu spodního dílu nástroje (Obr. 64) znázorněny šedou barvou.



Obr. 63 – Horní díl nástroje v sekci pro stříhání placek

Kvůli složitosti spodní sekce pro stříhání placek výlisků jsem použil pro znázornění 3D model. Po najetí klínů opatřených kluznými deskami na horní části nástroje vznikne tlak na spodní díl nástroje a to přesně na vodící desky (okrová barva), které jsou připevněny na kulisy (světle modrá barva). Kulisy stlačují kotevní desky klínů (tmavě modrá barva), ve kterých jsou uloženy střížníky (fialová barva) pro stříhání děr v packách výlisku. Střížníky z kulis vyjedou a vystříhnou v packách díry. V kotevní desce (červeno žlutá barva) jsou uloženy střížnice.

Pro správné a přesné vedení střížníků slouží přidržovače klínů (označeny zelenou barvou). Přidržovače jsou vedeny na vodících sloupcích (jsou označeny černou barvou) a po těchto sloupcích jsou po stříhu odtlačovány i se střížníky do své původní polohy. Odtlačení probíhá pomocí plynových pružin (šedá barva). Po vrácení střížníků do kotevních desek klínů, které prostříhnou packy, se po posunutí pásu plechu celý cyklus opakuje.



Obr. 64 – Model spodního dílu nástroje v sekci pro stříhání plackek

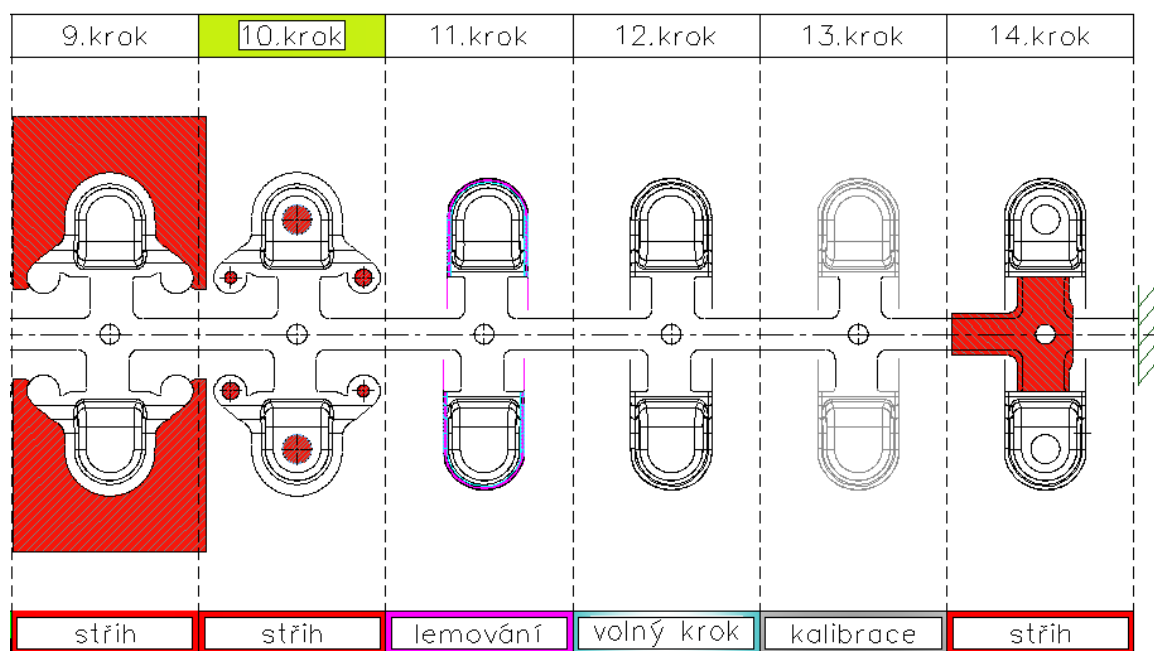
Tento krok vystřihnutí otvorů o $\varnothing 6,7^{+0,1}_0 \text{ mm}$ a $\varnothing 9^{+0,1}_0 \text{ mm}$ se však v lisovně v Jaroměři ani na pátý pokus nepodařilo odladit. Při odladování se však vždy úspěšně odladily ostatní nedostatky nástroje a vylisovaly se vzorkové série. Problém s odladěním stříhu děr v packách lze odladit tak, že se podaří nalézt správnou polohu razníků v klínové jednotce. Po nalezení této polohy bude dodržena jak předepsaná souosost děr, tak kritický znak, čímž je rozměr 12,9 mm vzdálená osa děr ode dna výlisku. Po pátém odzkoušení postupového lisovacího nástroje však výlisky stále vypadají jak na obrázku číslo 65.



Obr. 65 – Výlisky se špatně vystřihnutými dírami v plackách

10.2 Nová varianta řešení děrování

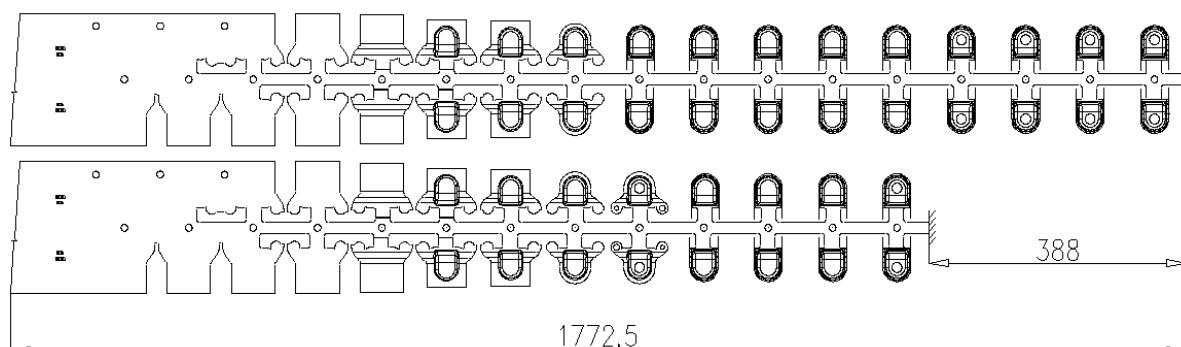
Nová varianta řešení stříhání otvorů pro čep v packách výlisku je založena na přesunutí tohoto kroku na jiné místo v nástroji. Otvory se již nebudou stříhat vertikálně pomocí složitého klínového mechanismu s kulisami, ale horizontálně, jako všechny ostatní střižené části. Díky vertikálnímu střížení nepůsobí na packy odpružení, protože vystřížení otvoru proběhne před samotným ohnutím pacek do konečné podoby výlisku. Nová varianta vystřížení otvorů o $\varnothing 6,7^{+0,1}_0 \text{ mm}$, $\varnothing 9^{+0,1}_0 \text{ mm}$ a $\varnothing 15^{+0,2}_0 \text{ mm}$ je znázorněna na obrázku č. 66. Střížení probíhá v samostatném kroku 10, který je vložen mezi krok 9, kde se na výlisku ostříhává kolem kruhové plochy přebytečný materiál pro vytvoření kontury, a krok 10, respektive 11, ve kterém jsou na výlisku lemovány hrany. Střížení výlisku probíhá pomocí tří, od sebe navzájem odstupňovaných střižníků z důvodu odlehčení lisu. Jelikož nejsou packy ohnuty, je oproti předcházející variantě zaručeno požadované vystřihnutí ve středu plochy pacek s dodržением tolerancí velikosti děr, které zaručuje razník. Tyto díry, a hlavně jejich souosost, jsou na výlisku zásadní pro usazení čepu a následnou instalaci zbylých částí výrobku.



Obr. 66 – Nově navržený 10. krok pro vystřížení děr pro čep

Na obrázku č. XX je znázorněno posledních šest kroků lisování výlisku za pomoci nové varianty stříhání děr. Prvních osm kroků je totiž shodných s první variantou, se kterou je nástroj vyroben a odladován. Z důvodu přehlednosti jsem tyto kroky do obrázku nevykresloval.

Použití této varianty má výhody v tom, že by firmě KARSIT HOLDING, s.r.o. ušetřili mnoho financí a nástroj by se značně zjednodušil. Není zde použit klínový mechanismus na stříhání otvorů, který je náročný na konstrukci i výrobu. Tento mechanismus také v postupovém nástroji kvůli své velikosti zabere 4 kroky, což je celkem 388mm délky nástroje. Firma by tedy ušetřila za celý mechanismus, oproti kterému jsou střižníky a střižnice zanedbatelné částky. Ušetřila by také za materiál desek, který by byl o 388mm kratší a dokonce i za vodící sloupky, plynové pružiny, kuličková pouzdra atd., což také nejsou malé položky. Tyto prvky by do postupového nástroje nemusela instalovat z toho důvodu, že by se nástroj, díky své kratší délce, vešel na zkoušecí lis v nástrojárně v Postřelmově a nemusel by být vyráběn na 2 segmenty (střižnou a tvarovací část), jako v předcházející variantě. Jako jednu z posledních výhod bych uvedl ušetření času pracovníků a dopravních nákladů. Postupový nástroj se totiž několikrát do měsíce převážel na odzkoušení a odladování do 120km vzdáleného sídla firmy KARSIT HOLDING, s.r.o. v Jaroměři. Odzkoušení po připevnění nástroje na lis trvalo vždy celý den, kdy tento proces zaměstnal hlavního nástrojaře, konstruktéra a obsluhu lisu včetně samotného lisu MW 450T.



Obr. 67 – Porovnání délek layoutů obou variant

Tato varianta je však pouze jen teoretická, a i přes výhody, jako jsou snadnější konstrukce nástroje a jeho zlevnění, nebude v konkrétním případě použita ani zpracována. Jedním z důvodů je vysoká cena simulace varianty, která je velmi nákladná a zadává se firmě MECAS ESI s.r.o. v kooperaci jen při těch nejsložitějších výliscích, jenž tento kvůli jednoduchosti není a nástroj se odladí na základě zkoušek. Hlavním důvodem je však zákazníkem požadovaná vysoká tolerance děr a jejich vzájemná poloha v řádu setin milimetru, které vertikální stříhání nezaručí (předpokládá se, že by simulací tato nová varianta stříhání neprošla). Z tohoto důvodu je použita první varianta s klíny, které jsou velmi stabilní. Právě tato stabilita je při stříhání s použitím klínů po odladění mechanismu maximální výhodou a zaručuje při sériové výrobě stříhání s vysokými tolerancemi jak děr, tak jejich vzájemných poloh.

11 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

11.1 Technické zhodnocení

V technickém zhodnocení jsem vypočítal náklady firmy KARSIT HOLDING, s.r.o. na výrobu postupového lisovacího nástroje. Cena nástroje je stanovena již před samotným začátkem výroby. Tuto cenu určuje odhadem technolog, na základě návrhu nástroje od konstruktéra (počet lisovacích kroků, velikost a síla lisu), aby zákazník znal náklady. Tato prodejní cena byla stanovena na 1 800 000,- Kč.

Materiálové náklady N_m [Kč]

Cena je součet nákladů za materiál a normálie, potřebných pro zhotovení postupového lisovacího nástroje.

$$N_m = \underline{560\,893,-\text{ Kč}}$$

Náklady za kooperaci N_k [Kč]

Cena je součet nákladů, které byly zaplacené firmám:

- Kon Zr s.r.o. za layout
- Siemens s.r.o. Mohelnice za úhlové broušení
- Czech Metal Olomouc s.r.o. za vakuové kalení
- Komfi spol. s r.o. za laserové řezání
- Ponam v.o.s. za řezání vodním paprskem

$$N_k = \underline{60\,353,-\text{ Kč}}$$

Náklady za práci N_p [Kč]

$$N_p = N_z \cdot t_{vn}$$

$$N_p = 495 \cdot 1804$$

$$N_p = \underline{892\,980,-\text{ Kč}}$$

N_z – průměrná hodinová sazba za práci [Kč/h]

t_{vn} – celkový čas strávený výrobou nástroje [h]

Celkové náklady na výrobu postupového nástroje N_c [Kč]

$$N_c = N_m + N_k + N_p$$

$$N_c = 560893 + 60353 + 892980$$

$$N_c = \underline{1\,514\,226, -Kč}$$

11.2 Ekonomické zhodnocení

V ekonomickém zhodnocení jsem vypočítal materiálové náklady na výlisek a výrobu výlisků po dobu šesti let, na kterou je postupový nástroj konstruován. Výlisek je vyroben ze svitku plechu konstrukční oceli číslo W.Nr. 1.0980 (značka dle EN: S420SC) vhodné pro tváření za studena automobilový průmysl.

Procentuální využití materiálu V_m [%]

Výpočet využití materiálu je spočítán pomocí hmotnosti celkové spotřeby materiálu při polovině jednoho kroku (dvounásobný nástroj) a hmotnosti výlisku. Odpad materiálu při lisování činí 0,097kg.

$$V_m = \frac{M_{výl}}{M_{mat}} \cdot 100$$

$$V_m = \frac{0,071}{0,168} \cdot 100$$

$$V_m = \underline{42,3\%}$$

$M_{výl}$ – hmotnost výlisku [kg]

M_{mat} – hmotnost materiálu při kroku na jeden výrobek (198x97x2mm) [kg]

Technologický odpad činí 57,7%.

Materiálové náklady C_m [Kč]

$$C_m = M_{mat} \cdot C_{sv}$$

$$C_m = 0,168 \cdot 17,6$$

$$C_m = \underline{2,96Kč}$$

C_{sv} - cena svitku materiálu (17,6 Kč/kg)



Cena materiálu použitého na výlisek C_{mv} [Kč]

$$C_{mv} = \frac{Vm}{100} \cdot C_m$$

$$C_{mv} = \frac{42,3}{100} \cdot 2,96$$

$$C_{mv} = \underline{1,252Kč}$$

Variabilní náklady N_v [Kč]

$$N_v = C_m - C_o + N_{mz}$$

$$N_v = 2,96 - 0,34 + 0,15$$

$$N_v = \underline{2,77Kč}$$

C_o – cena odpadu vrácená do sběrných surovin (0,34Kč na výlisek)

N_{mz} – mzdy

Minimální prodejní cena výlisku C_{min} [Kč]

$$C_{min} = (N_v + N_r + N_s + N_i) + Z$$

$$C_{min} = (2,77 + 1,10 + 0,09 + 0,08) + 0,22$$

$$C_{min} = \underline{4,26Kč}$$

N_r – režijní náklady na výlisek (1,10Kč)

N_s – skladovací náklady (0,09Kč)

N_i – inflace na výlisek (0,08Kč)

Z – čistý zisk na jednom výlisku (0,22Kč)

Materiálové náklady na sérii N [Kč]

$$N = C \cdot V_{sr} \cdot D_{pn}$$

$$N = 4,26 \cdot 163464 \cdot 6$$

$$N = \underline{4\,178\,140Kč}$$

V_{sr} – velikost série za rok (163 464ks/rok)

D_{pn} – doba provozu nástroje (6 let)



Čistý zisk z výlisků za 6 let [Kč]

$$Zisk = Z \cdot V_{sr} \cdot D_{pn}$$

$$Zisk = 0,22 \cdot 163464 \cdot 6$$

$$Zisk = \underline{215\,772\text{Kč}}$$

Celkový čistý zisk za celkový počet 980 784 kusů výlisků za šest let provozu postupového lisovacího nástroje.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá výrobou postupového lisovacího nástroje. Cílem práce je popsat technologii postupového lisování a výrobu konkrétního postupového nástroje, který bude plně kompatibilní s lisem Müller Weingarten HUQ 450.30. Nástroj je konstruován jako dvounásobný a na jeden pracovní zdvih vyrobí dva hotové výlisky. Výrobou těchto postupových nástrojů se zabývá firma KARSIT HOLDING, s.r.o., jejíž nástrojárna sídlí v Postřelmově. Zakázka na výrobu postupového nástroje byla zadána od firmy Johnson Controls GmbH sídlící v Německu. Postupový nástroj slouží pro výrobu součásti použité v mechanismu zavírání zadních nákladových dveří, v nejnovějších modelech dodávkového automobilu Ford Transit. Postupový nástroj bude tyto výlisky lisovat po dobu šesti let v lisovně sídla firmy KARSIT HOLDING, s.r.o. v Jaroměřu, a tyto výlisky následně dodávat do Německa, do firmy Johnson Controls GmbH.

Úvodní část diplomové práce, po představení firmy KARSIT HOLDING, s.r.o., se zabývá tvářením za studena, což je tvářecí proces, pomocí kterého je kov v postupovém nástroji zpracováván. Následně jsou popsány hlavní technologie lisování za studena, mezi které patří stříhání, ohýbání a tažení, které postupový lisovací nástroj kombinuje.

Praktická část obsahuje kompletní zadání součásti s výrobou postupového nástroje. V konstrukčním řešení jsou detailně popsány konstrukční části nástroje, jako jsou desky a vodící prvky, tak funkční části v nich uložené, které lisují plech až do jeho konečné podoby. Dále se práce zabývá technologickým řešením, jak výroby postupového nástroje, tak technologickými operacemi při lisování plechu, které je uskutečněno a popsáno v osmnácti krocích.

Práce je následně zaměřena na lisovací krok, ve kterém se na výlisku stříhají díry v packách. Tyto díry musí být vystřiženy v požadovaných tolerancích a vzájemných polohách v řádu setin milimetru kvůli čepu, který se do nich při kompletování sestavy zavíracího mechanismu dveří ukládá. Vystřižnutí těchto děr však v postupovém nástroji stále nejde odladit a výlisky v místě stříhu děr vykazují nepřijatelné hodnoty tolerancí. Navrhnuta je tak nová varianta pro tento krok, která je však pouze teoretická a je zhotovena za účelem zjednodušení a zlevnění nástroje. V praxi však nebude na postupovém lisovacím nástroji zhotovena. Použití klínového mechanismu, i když je dražší a náročnější na výrobu a konstrukci, má při správném odladění při sériové výrobě díky jeho tuhosti a stabilitě řadu nesporných výhod.



Na závěr práce je provedeno technickoekonomické zhodnocení. V technickém zhodnocení jsou vypočteny náklady na výrobu postupového nástroje, které byly před zahájením výroby odhadnuty na 1 800 000Kč. Po sečtení výrobních nákladů, jako jsou náklady za materiál, náklady za práci a náklady vynaložené za kooperaci, vyšli celkové výrobní náklady nástroje na 1 514 226Kč. Z toho vyplývá, že výroba postupového nástroje, která zabrala celkem 1804 hodin, nebyla ztrátová. V ekonomickém zhodnocení jsou vypočteny materiálové náklady na výlisek, které činní 2,96Kč. Při velikosti série 980 784 kusů výlis-
ků za 6 let, kdy má být nástroj v provozu činní celkové náklady na materiál, který firma firmy KARSIT HOLDING, s.r.o. zajišťuje 4 178 140Kč, přičemž čistý zisk z výlisku bude 215 772Kč. Ceny jsou však vázané na dodavatele a ceny materiálu.

Pro úspěšné zhotovení, odzkoušení, odladění a zavedení postupového lisovacího nástroje do výroby je zapotřebí mít velmi kvalifikované pracovníky a kvalitní strojní park. Těmito aspekty firma KARSIT HOLDING, s.r.o. dokonale disponuje.



PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji prof. Ing. Jiřímu Hrubému, CSc, z katedry mechanické technologie VŠB – Technické univerzity Ostrava za cenné rady, připomínky a vedení při vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vlastě Vicenecové ze společnosti KARSIT HOLDING, s.r.o. za umožnění vypracovat tuto diplomovou práci, za získání potřebných informací, konzultací, podkladů, rad ke zpracování diplomové práce a za umožnění exkurze do lisovny a sídla firmy KARSIT HOLDING, s.r.o. v Jaroměři, kde jsem mohl být přítomen při odladování postupového lisovacího nástroje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, P., TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Technologie II, 1. část - technologie tváření kovů* [online]. 2013 [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm
- [2] ČADA, R., *Technologie I – Objemové a plošné tváření za studena (návody do cvičení)*. 1. vydání, Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA 2009. 89 s., ISBN 978-80-248-2126-9
- [3] BŘEZINA, R., PETREŽELKA, J., *Úvod do tváření 2*, 1. vydání, Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA 2002. 116 s., ISBN 80-248-0068-3
- [4] BLAŠČÍK, F. A kolektiv, *Technológia tvárenia, zlievárenstva a zvarovania*, 1.vydanie, Bratislava: Alfa 1988, 832 s. ISBN 063-563-87 05.
- [5] ČADA, R., *Technologie I – Plastická deformace kovů, objemové tváření za studena, tažení plechu, ohýbání*, 1. vydání, Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA 2009. 86 s., ISBN 978-80-248-2108-5
- [6] SHINGLEY, J.E., MISCHKE, Ch.R., BUDYNAS, G.R., *Konstruování strojních součástí*, 1.vydání, Brno: Nakladatelství VUTIÚ, Vysoké učení technické v Brně 2010, 1159s. ISBN 978-80-214-2629-0
- [7] HLUCHÝ M., *Strojírenská technologie 2 – 1 díl, Polotovary a jejich technologičnost*, 2. Upravené vydání, Praha 2001, 316s. ISBN 80-7183-244-8
- [8] FOREJT M., PÍŠKA M., *Teorie obrábění, tváření a nástroje*, 1. vydání, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9
- [9] MAREK, P., MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Nová lisovací linka v Mladé Boleslavi* [online]. 2013. vyd. 2013 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-lisovaci-linka-v-mlade-boleslavi.html>



- [10] HALTUF, R., FINDA, L., MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Akademie tváření: Stříhání* [online]. 2013. vyd. 2010 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html> 11
- [11] D - vodící prvky - přehled. *GORE s.r.o.: Normálie pro strojírenský průmysl* [online]. 11. 1. 2012 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: <http://www.gore.cz/index.php/katalogy/cesky-katalog-online/d-samomazne-dily>
- [12] TATÍČEK, F., OUŠKA, M., TURZA, L., MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání* [online]. 2013. vyd. 2012 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
- [13] Lexikon ocelí. In: [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: http://www.dashofer.cz/download/pdf/lxo_ukazka03.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 – Pružná a plastická deformace při průběhu procesu stříhání [10]</i>	17
<i>Obr. 2 – Deformační pásma při stříhání [1]</i>	17
<i>Obr. 3 – Způsoby prací střížných nástrojů</i>	18
<i>Obr. 4 – Princip stříhání na stříhadlech [1]</i>	19
<i>Obr. 5 – Princip postupového stříhadla</i>	20
<i>Obr. 6 - Kvalita střížné plochy s ohledem na velikost střížné mezery (a – malá střížná mezera; b – optimální střížná mezera; c – velká střížná mezera) [2]</i>	21
<i>Obr. 7 – Kvalita střížné plochy pro 3 různé velikosti střížné mezery [1]</i>	22
<i>Obr. 8 – Rozdělení způsobů ohýbání</i>	23
<i>Obr. 9 – Schéma rozložení napětí při ohýbání a posuv neutrální osy [1]</i>	23
<i>Obr. 10 – Odpružení materiálu ve tvaru „V“ a „U“ (α – úhel ohybu, γ – úhel odpružení).....</i>	24
<i>Obr. 11 – Směr vláken materiálu při ohýbání [12]</i>	25
<i>Obr. 12 – Schéma nástrojů pro ohyb materiálu do tvaru „V“ a „U“ [1].....</i>	26
<i>Obr. 13 – Základní technologie tažení.....</i>	28
<i>Obr. 14 – Základní princip tažení válcové nádoby.....</i>	29
<i>Obr. 15 – a) vnik vln při tažení bez přidržovače a b) tažení s přidržovačem</i>	32
<i>Obr. 16 – Schéma tažného nástroje</i>	34
<i>Obr. 17 – Detail brzdící lišty</i>	34
<i>Obr. 18 – Postupové tažení bez nástřihu pásu [3]</i>	35
<i>Obr. 19 – Postupové tažení s nástřihem v jedné řadě [3]</i>	36
<i>Obr. 20 – Postupové tažení s natržením pásu [3].....</i>	36
<i>Obr. 21 – Roboty obsluhovaná lisovací stanice [9]</i>	38
<i>Obr. 22 – Nová servomechanická lisovací linka PXL od společnosti Schuler [9]</i>	38
<i>Obr. 23 – Model výlisku závěsu pantu Obr. 24 – Kompletní sestava závěsu dveří</i>	39
<i>Obr. 25 – Lisovací linka firmy KARSIT HOLDING s.r.o.</i>	40
<i>Obr. 26 – Odvíječ svitku</i>	41
<i>Obr. 27 – Rovnačka plechu.....</i>	41
<i>Obr. 28 – Podavač plechu s mazacím zařízením Obr. 29 – Detail mazacího zařízení</i>	42
<i>Obr. 30 – Hydraulický lis MW 450T.....</i>	42
<i>Obr. 31 – Layout výroby výlisku</i>	43
<i>Obr. 32 – Schéma 1. až 6. kroku při lisování.....</i>	44



<i>Obr. 33 – Natočení výlisku v šestém a osmém kroku</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 34 – Schéma 7. až 12. kroku při lisování</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 35 – Schéma 13. až 18. kroku při lisování</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 36 – Layout výroby výlisků</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 37 – Postup pásu v nástroji mezi lisovacím cyklem</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 38 – Nové obráběcí centrum HARTFORD PRO 1000AP</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 39 – Odzkoušení tvarovací části nástroje na lisu PYE 250T</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 40 – Kompletní postupový nástroj upevněný na lis MW 450T v Jaroměři</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 41 – Schéma konstrukčních částí nástroje</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 42 – Vodící lišty</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 43 – Vodící sloupky s kuličkovými klecemi</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 44 – Čidlo posuvu plechu</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 45 – Schéma horní poloviny lisovacího nástroje</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 46 – Model střižníků</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 47 – Model ohybníků</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 48 – Model tažníků</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 49 – Model kalibrů</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 50 – Model hledáčku</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 51 – Horní polovina nástroje</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 52 – Schéma dolní poloviny lisovacího stroje</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 53 – Modely střižných matic</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 54 – Model střižných pouzder</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 55 – Model střižníků v dolní části nástroje</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 56 – Model ohybových matic</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 57 – Levá a pravá tažnice</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 58 – Lemovací matrice</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 59 – Kalibrovací matrice</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 60 - Kulisy</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 61 – Dolní polovina nástroje</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 62 – Trhání dna výlisků při děrování</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 63 – Horní díl nástroje v sekci pro stříhání placek</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 64 – Model spodního dílu nástroje v sekci pro stříhání placek</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 65 – Výlisky se špatně vystřihnutými dírami v plackách</i>	<i>63</i>



<i>Obr. 66 – Nově navržený 10. krok pro vystřížení děr pro čep</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 67 – Porovnání délek layoutů obou variant</i>	<i>65</i>



SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 – Schematické rozdělení nástrojů podle jejich funkce [4]</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 2 – Hodnoty koeficientů m_s pro výpočet střížné práce</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 3 – Hodnoty úhlu odpružení materiálů</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 4 – Hodnoty silových opravných součinitelů pro 1. tah k_1</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 5 – Hodnoty silových opravných součinitelů pro druhý a následující tahy k_i</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 6 – Chemické složení oceli 1.0980 [13]</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 7 – Mechanické vlastnosti oceli 1.0980 [13]</i>	<i>43</i>